

**SISTEM PROTEKSI MOTOR INDUKSI 3 FASA DARI GANGGUAN
TIDAK SEIMBANG DAN TEMPERATUR LEBIH MENGGUNAKAN
MIKROKONTROLLER**

(SKRIPSI)

Oleh

Didit Very Kuswoyo



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

ABSTRAK

SISTEM PROTEKSI MOTOR INDUKSI TIGA FASA DARI GANGGUAN TIDAK SEIMBANG DAN TEMPERATUR LEBIH MENGGUNAKAN MIKROKONTROLLER

Oleh

DIDIT VERYKUSWOYO

Motor induksi tiga fasa merupakan jenis motor yang paling sering digunakan pada proses produksi di industri. Hal ini dikarenakan motor induksi memiliki beberapa konstruksi peralatan yang sederhana dan biaya perawatannya yang relatif rendah. Motor induksi tiga fasa merupakan peralatan yang sering bekerja dalam waktu yang lama, gangguan yang sering timbul pada motor induksi yaitu gangguan ketidakseimbangan dan temperatur lebih. Ketidakseimbangan beban dapat mengakibatkan temperatur belitan naik. Temperatur lebih ini dapat mengakibatkan kebakaran pada isolasi belitan yang selanjutnya mengakibatkan kegagalan operasi motor induksi. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem peralatan proteksi untuk mengatasi kegagalan motor induksi saat bekerja.

Penelitian tugas akhir ini merancang dan membuat alat proteksi dari gangguan tidak seimbang dan temperatur lebih dengan menggunakan mikrokontroler. Sensor arus dan sensor temperatur digunakan sebagai data masukan ke mikrokontroler. Mikrokontroler akan bekerja bila persentase ketidakseimbangan arus setiap fasa dan temperatur motor induksi melebihi batas yang telah diset.

Pengujian dilakukan dengan mengatur beban setiap fasa pada sisi stator atau memutus salah satu fasa dan mengukur temperatur dari motor induksi. Batas temperatur operasi yang diset adalah 45°C dan batas persentase ketidakseimbangan arus adalah 20%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peralatan proteksi yang dibuat dapat bekerja dengan baik dan memutus suplai motor induksi bila temperatur motor induksi dan keseimbangan arus beban melebihi nilai batas yang telah ditentukan.

Kata kunci: Sistem Proteksi, Motor Induksi Tiga Fasa, Gangguan Tidak Seimbang, Temperatur, Mikrokontroler.

ABSTRACT

PROTECTION SYSTEM OF THREE-PHASE INDUCTION MOTOR FROM UNBALANCED FAULT AND OVERTEMPERATUR USING MICROCONTROLLER

By

DIDIT VERYKUSWOYO

Three phase induction motor is a motor type most often used in the production process in the industry. This is because the induction motor has some simple equipment construction and maintenance costs are relatively low. Three-phase induction motor is the equipment that often work for a long time, a disorder that often arise in induction motors that imbalance fault and temperatures. Load imbalance can result in winding temperature rise. These temperatures can result in a fire on the winding insulation which subsequently resulted in the failure of induction motor operation. Therefore, it needs a system of protective equipment to cope the failure of the induction motor while working.

This final project aim is to design and make protection tools from unbalanced fault and over temperature by using a microcontroller. A current sensor and a temperature sensor are used as input data to the microcontroller. Microcontroller will work when the percentage of current imbalance of each phase and the induction motor temperature exceeds beyond the limits that have been set.

Testing is performed by adjusting the load of each phase on the stator or breaks one phase and measuring the temperature of the induction motor. Limit operating temperature is 450C and the setting of percentage threshold current imbalance is 20%. The test results showed that the protective devices are made to work properly and cut-off supplies of an induction motor when the temperature of the induction motor and balance the load current exceeds a predetermined limit value.

Keywords: Protection System, Three-Phase Induction Motors, Unbalanced Fault, Temperature, Microcontroller

**SISTEM PROTEKSI MOTOR INDUKSI 3 FASA DARI GANGGUAN TIDAK
SEIMBANG DAN TEMPERATUR LEBIH MENGGUNAKAN
MIKROKONTROLLER**

Oleh

DIDIT VERY KUSWOYO

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2016**

Judul Skripsi : **SISTEM PROTEKSI MOTOR INDUKSI 3 FASA DARI GANGGUAN TIDAK SEIMBANG DAN TEMPERATUR LEBIH MENGGUNAKAN MIKROKONTROLLER**

Nama Mahasiswa : **Didit Very Kuswoyo**

Nomor Pokok Mahasiswa : 0545031011

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

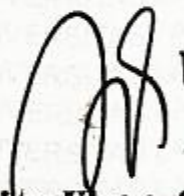


Osea Zebua, S.T., M.T.
NIP 19700609 199903 1 002



Ir. Noer Soerdjawanto, M.T.
NIP 19631114 199903 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Osea Zebua, S.T., M.T.**

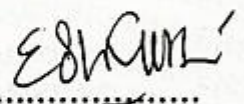


.....

Sekretaris : **Ir. Noer Soerdjawanto, M.T.**



Penguji Utama : **Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **08 Juni 2016**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat pendapat yang tertulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar maka saya bersedia di kenai sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 08 Juni 2016

Penulis



Didit Very Kuswoyo

NPM. 0545031011

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Mexico Sintang Kalimantan Barat, pada tanggal 10 Desember 1986. Penulis merupakan anak keempat dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Daryono dan Ibu Hendro Yani. Riwayat pendidikan formal penulis pertama kali mengenyam pendidikan di TK Pertiwi Way Jepara Lampung Timur, dari tahun 1992 - 1993.

Kemudian penulis melanjutkan pendidikan dasar di SDN 3 Beraja Sakti Way Jepara, diselesaikan pada tahun 1999. SLTPN 1 Way Jepara diselesaikan pada tahun 2002. dan SMA Teladan Way Jepara diselesaikan pada tahun 2005. Pada tahun 2005, Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Non Regular 2005. Pada tahun 2009 penulis melakukan kerja praktik (KP) pada Tanggal 1 Juli 2009 - 1 Agustus 2009 di PT. Garudafood Putra Putri Jaya (GPPJ) yang bergerak dalam usaha pengemasan makanan ringan (snack) dan minuman, Kabupaten Lampung Selatan, dalam jangka waktu 1 bulan. Penulis menyelesaikan kerja parakteknya dengan menulis laporan yang membahas tentang “Sistem Start Motor Pada Penyulingan Minyak PT. Garudafood Putra Putri Jaya (PT. GPPJ)”

Motto

"Sesungguhnya Allah tidak mengubah keadaan sesuatu kaum, sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri"

-Al Quran, Surat Ar Ra'd : 11-

"Man jadda wajada"

Siapa bersungguh sungguh pasti berhasil

"Man shabara zhafira"

Siapa yang bersabar pasti beruntung

"Man sara ala darbi washala"

Siapa menapaki jalan-Nya akan sampai ke tujuan

"Janganlah Memandang Orang Dari Sebelah Mata Karna kita Tidak Tau Kemampuan Orang Tersebut"

"Do not put off doing a job because nobody knows whether we can meet tomorrow or not"

"jangan menunda – nunda untuk melakukan suatu pekerjaan karena tidak ada yang tahu apakah kita dapat bertemu hari esok atau tidak"

"Every action has a reaction, every act has a consequence, and every kindness has kind reward"

"Setiap aksi memiliki, reaksi setiap perbuatan memiliki konsekuensi dan setiap kebaikan memiliki suatu balasan yang baik"

Kupersembahkan Skripsi ini Kepada Ayah dan Ibu Tercinta:

Daryono dan Hendro Yani

Sembah dan baktiku haturkan atas jerih payah dan kasih sayang yang telah mendidik, membekali dan memperjuangkan sampai akhir perjuangan studi ku.

Serta keluarga besarku ,Ketiga kakakku (Nanik Varida, Agus Andi Lala, dan Rikho Yayan Bhastiyen) Mbah Kakung (Alm) dan Mbah Putri yang telah memberikan dukungan , serta orang special dalam hati, sahabat, rekan seperjuangan dan orang-orang terdekat.....AMI N

SANWACANA

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT. Atas nikmat kesehatan dan kesempatan yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir ini. Sholawat serta salam selalu penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai suri teladan bagi umat manusia. Sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa Dari Gangguan Tidak Seimbang Dan Temperatur Lebih Menggunakan Mikrokontroller”** merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr, Ir. Hasriadi Mat Akin, M.P, Selaku Selaku Rektor
Universitas Lampung;
2. Bapak Prof. Suharno, M.Sc. Ph.D. Selaku Dekan Fakultas Teknik
Universitas Lampung;
3. Bapak Dr. Ing Ardian Ulvan, S.T., M.Sc, Selaku Ketua Jurusan Teknik
Elektro Universitas Lampung;

4. Bapak Dr. Herman H Sinaga. Selaku sekretaris jurusan teknik elektro Universitas Lampung;
5. Bapak Osea Zebua, S.T.,M.T. selaku pembimbing utama sekaligus pembimbing akademik penulis, yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dan pandangan hidup kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah;
6. Noer Soerdjawanto, M.T. selaku Pembimbing Pendamping atas kesediaannya meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, saran dan dukungan yang tiada henti dalam proses penyelesaian tugas akhir ini;
7. Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T.,M.T selaku Penguji Utama tugas akhir. Terima kasih atas saran dan kritik dalam tugas akhir ini;
8. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung atas ilmu yang telah diajarkan selama ini;
9. Mbak Ning dan jajaran staf administrasi Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
10. Bapak, Ibu, Kakak-kakak ku Nanik Farida, Agus Andi Lalla, Rikho Yayan Bhastiyani dan segenap keluarga besarku tercinta yang telah melimpahkan banyak kasih sayang, kesabaran, semangat, serta doa yang telah diberikan.
11. Seluruh Teknisi dan penghuni Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung.
12. Teman – teman Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung: Frenki PS, Amri Mustaqin Marda, Reza A, Yudi Setiawan, Jati Untoro, Ahmad Farizal, Saparuddin, Harry Dwi Saputra, Anton Saputra, Antonian S, Panggih H, Hengki D, I Putu, Sudjarot, Insan Hakim, Jemi Anggara, Pak

Didik, Ade Hardeto, Joko, Angga Hidson, Asido, Dayat, Irawan Beny, Muhlisin, Novan, Rizky DS, Singgih, Surya, Adi Kurniawan, Dedi I, Dedi EK, Rahman, Indra, dan lain-lain atas segala dukungan, motivasi dan selalu menemani penulis dalam suka maupun duka. Semoga kebersamaan ini tetap terjaga selamanya

13. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas bantuan dan dukungannya.

Semoga kebaikan, kemurahan hati dan bantuan yang telah diberikan semua pihak mendapat balasan yang setimpal dari Allah SWT dan semoga hari-hari kita selalu indah dan menjadi lebih baik lagi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak lepas dari kesalahan dan jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu saran dan kritik yang membangun penulis harapkan demi perbaikan dimasa yang akan datang. Akhirnya, semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 08 Juni 2016
Penulis,

DIDIT VERY KUSWOYO

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| DAFTAR ISI | |
| DAFTAR GAMBAR | |
| DAFTAR TABEL | |
| I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Tujuan Penelitian..... | 2 |
| 1.2. Manfaat Penelitian..... | 2 |
| 1.4. Rumusan Masalah | 3 |
| 1.5. Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.6. Hipotesis Awal | 4 |
| 1.7. Sistematika Penulisan | 4 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA..... | 6 |
| 2.1. Motor induksi 3 fasa..... | 6 |
| 1. Keuntungan motor induksi 3 fasa..... | 7 |
| 2. Kerugian motor induksi 3 fasa..... | 7 |
| 2.2. Konstruksi motor induksi 3 fasa | 7 |
| 2.3. Jenis motor induksi 3 fasa dari segi rotor..... | 8 |
| 2.4. Motor induksi 3 fasa rotor sangkar tupai..... | 9 |
| 2.5. Motor induksi 3 fasa rotor belitan..... | 10 |
| 2.6. Prinsip kerja motor induksi 3 fasa..... | 11 |
| 2.7. Efisiensi | 16 |
| 2.8. Ketidakseimbangan Beban..... | 17 |
| 2.9. Analisis Ketidakseimbangan Beban..... | 23 |
| 2.10. Kontaktor magnet..... | 25 |
| 2.11. Arduino Uno | 26 |
| 1. Pin Masukan Dan Keluaran Arduino Uno..... | 27 |
| 2. Sumber Daya Dan Pin Tegangan Arduino Uno..... | 29 |
| 3. Bahasa Pemrograman Arduino..... | 30 |

| | |
|--|----|
| 4. Fungsi Masukan Dan Keluaran Digital | 30 |
| 2.11.1. LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)..... | 33 |
| 2.12. Relay..... | 32 |
| 2.13. Persyaratan Kualitas System Proteksi..... | 34 |
| 2.14. ACS712 (<i>Allegro Current Transformer</i>)..... | 36 |
| 2.15. Transformator (<i>Trafo</i>)..... | 38 |
| 2.16. Prinsip Kerja Transformator..... | 39 |
| 2.17. Kapasitor..... | 40 |
| 2.18. Transistor..... | 42 |
| 1. Jenis Transistor..... | 43 |
| 2. BJT (<i>Bipolar Junction Transistor</i>)..... | 44 |
| III. METODE PENELITIAN | 46 |
| 3.1. Waktu dan Tempat | 46 |
| 3.2. Alat dan Bahan..... | 46 |
| 3.3. Metode penelitian..... | 47 |
| 3.4. Prosedur Kerja..... | 48 |
| 1. Studi Literatur | 48 |
| 3.5. Penentuan SpesifikasiRancangan | 51 |
| 3.6. Perancangan Perangkat keras | 51 |
| 1. Power Supply..... | 51 |
| 2. Rangkaian Aktuator..... | 52 |
| 3. Rangkaian Sensor Suhu..... | 53 |
| 4. Rangkaian Sensor Arus..... | 55 |
| 5. Motor Induksi 3 Fasa..... | 56 |
| 6. Perancangan perangkat Lunak | 56 |
| 7. PembuatanAlat..... | 56 |
| 8. PengujianAlat | 57 |
| 9. Diagram alir penelitian..... | 58 |
| IV. HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 59 |
| A. Hasil Rancangan Alat..... | 59 |
| 1. Pengujian hardware..... | 59 |
| 2. Elektrik Hardware Kontrol..... | 61 |
| 3. Rangkaian Catu Daya..... | 62 |
| 4. Pengujian sensor suhuLM35..... | 65 |
| 5. Pengujian Sensor Arus..... | 68 |
| 6. Pengujian Pemicu Relay..... | 69 |
| 7. Pengujian Keseluruhan Alat..... | 73 |
| V. KESIMPULAN DAN SARAN..... | 78 |
| 5.1. Simpulan..... | 78 |
| 5.2. Saran..... | 78 |

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|--|---------|
| 4.1. Hasil Pengukuran Catu Daya..... | 63 |
| 4.2. Pengukuran Sensor Suhu..... | 65 |
| 4.3. Pengukuran Relay Dan Tegangan Basis Transistor..... | 70 |
| 4.4. Data Hasil Kalibrasi Pengukuran Ketidakseimbangan Pada R,S,T..... | 73 |
| 4.5. Data Disaat Motor Trip/Off Dalam Ketidakseimbangan R,S,T..... | 74 |
| 4.6. Data Pengujian Keseluruhan Disaat Normal R,S,T..... | 74 |
| 4.7. Data Pengujian Disaat R Tidak Dinyalakan..... | 75 |
| 4.8. Datapengujian Disaat S Tidak Dinyalakan..... | 76 |
| 4.9 Data Pengujian Disaat T Tidak Dinyalakan..... | 77 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|---|---------|
| 2.1. Konstruksi Motor Induksi | 7 |
| 2.2. Komponen Stator Motor Induksi Tiga Phasa | 8 |
| 2.3. Rotor Jenis Sangkar Dan Bagian-Bagian Rotor Sangkar | 9 |
| 2.4. Motor Induksi Dengan Rotor Sangkar | 10 |
| 2.5. Skematik Diagram Motor Induksi Rotor Belitan | 11 |
| 2.6. Konstruksi Motor Tiga Fasa Rotor Belitan | 11 |
| 2.7. Penampang rotor dan stator yang memperlihatkan medan magnet dalam celah udara | 12 |
| 2.8. Vector Diagram Arus Keadaan Seimbang | 18 |
| 2.9. Vector Diagram Arus Keadaan Tidak Seimbang | 19 |
| 2.10. Representasi Komponen Simetris | 25 |
| 2.11. Penjumlahan secara Grafis Komponen-Komponen | 25 |
| 2.12. Konstruksi Kontaktor Magnet | 27 |
| 2.13. konstruksi kontaktor magnet secara detail | 27 |
| 2.14. Arduino Uno | 27 |

| | |
|--|----|
| 2.17. LCD 2X16 Karakter..... | 32 |
| 2.18. Beberapa Contoh Relay DC Yang Ada Dipasaran..... | 33 |
| 2.19. Jenis-jenis <i>Relay</i> dan Terminal kaki-kaki <i>relay</i> | 34 |
| 2.20. sensor arus ACS712..... | 36 |
| 2.21. prinsip dari <i>Hall Effect</i> | 38 |
| 2.22. Bentuk Fisik Trafo..... | 39 |
| 2.23. Bentuk Fisik Transistor..... | 42 |
| 2.24. Symbol Transistor..... | 43 |
| 3.1. Blok Diagram Pengendali Proteksi Motor Induksi 3 Fasa..... | 51 |
| 3.2. Rangkaian Power Supplay..... | 52 |
| 3.3. Rangkaian Aktuator..... | 53 |
| 3.4. Rangkaian Sensor Suhu..... | 54 |
| 3.5. rangkaian sensor arus..... | 55 |
| 3.6. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir..... | 58 |
| 4.1. Skematik Hardware Secara Keseluruhan..... | 59 |
| 4.2. Fisik Hardware Elektrik Tampak Atas..... | 61 |
| 4.3. Fisik Hardware Elektrik Tampak Depan..... | 61 |
| 4.4. Rangkaian Catu Daya..... | 63 |
| 4.5. pengujian karakteristik dari sensor arus ACS 712..... | 69 |
| 4.6. Bentuk Fisik Rangkaian Pemicu Relay..... | 70 |
| 4.7. Flowchart Program Sensor Suhu..... | 71 |
| 4.8. flowchart program sensor arus..... | 72 |

DAFTAR LAMPIRAN

| Lampiran | Halaman |
|------------------------------------|---------|
| Lampiran 1 Daftar Lampiran A | 79 |
| Lampiran 2 Daftar Lampiran B | 86 |

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Penggunaan motor induksi didalam suatu system kelistrikan pembangkit sangat dibutuhkan dimana kegunaan dari motor induksi ini sendiri adalah sebagai penggerak. Secara umum motor induksi dapat dioperasikan baik dengan menghubungkan motor secara langsung kerangkaian pencatu maupun dengan menggunakan tegangan yang sudah dikurangi ke motor selama periode start. Pada saat ini banyak sekali mesin-mesin yang difungsikan untuk menggantikan kerja manusia. Salah satunya yaitu motor induksi tiga fasa. Motor induksi merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang paling luas digunakan dan dapat ditemukan dalam setiap aplikasi industri seperti *belt conveyour*, dan lain-lain. Motor induksi tiga fasa saat ini mempunyai peranan penting dalam memenuhi kebutuhan tersebut, dikarenakan motor induksi tiga fasa ini lebih efisien dibanding mesin-mesin lainnya. Saat ini banyak sekali industri-industri yang menggunakan motor induksi tiga fasa karena beberapa keuntungan yang ada pada motor induksi tersebut. perawatan motor induksi tiga fasa lebih hemat dibanding motor-motor lainnya. Dengan adanya efisiensi sedemikian rupa sehingga motor induksi tiga fasa sangat diminati di dunia perindustrian. kondisi ini tentu mengakibatkan motor listrik memiliki temperatur yang melebihi temperatur ruangan. Dalam

pengaplikasiannya, motor induksi tiga fasa dibutuhkan cara peralatan kontrol yang dapat memproteksi motor listrik dari gangguan satu fasa sebelum terjadi hubung singkat antar fasa dan arus lebih dari masing-masing fasa, dengan menggunakan system control ini maka arus masing-masing fasa akan di setting sesuai perhitungan arus lebih dari motor induksi tiga fasa yang dapat dikordinasikan sesuai dengan tegangan jala-jala dari motor listrik. Sehingga sistem proteksi dari motor listrik dapat lebih akurat.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah :

- a. Diperoleh alat yang dapat memproteksi dari gangguan tidak seimbang dan temperatur lebih pada motor induksi 3 fasa.
- b. Memahami cara memproteksi motor induksi 3 fasa dengan menggunakan program bahasa c.
- c. Menghasilkan suatu alat kontrol yang dapat memproteksi motor induksi tiga fasa dengan metode sistem kontrol yang lebih baik.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dapat tercapai, dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Agar dapat menghindari kerusakan motor secara tidak langsung dari gangguan tidak seimbang dan temperatur lebih pada saat motor beroperasi.

- b. Untuk mengetahui perubahan arus dan temperatur lebih saat motor induksi tiga fasa beroperasi.

1.4 Rumusan Masalah

Pada tugas akhir ini akan dibahas beberapa hal, antara lain:

- a. Bagaimana motor induksi tiga fasa agar terhindar dari gangguan tidak seimbang dan temperatur lebih saat beroperasi.
- b. Bagaimana cara mikrokontroller agar dapat membaca arus dan suhu pada saat motor beroperasi.
- c. Bagaimana cara agar perangkat lunak dan perangkat keras dapat bekerja sesuai keinginan.

1.5 Batasan Masalah

Ada beberapa hal yang menjadi batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

- a. Menggunakan motor induksi 3 fasa dengan kapasitas 1 KW
- b. Sistem pengendalian utama menggunakan mikrokontroller.
- c. Menggunakan pengamanan pada sumber tiga 3 fasa ke motor induksi.

1.6 Hipotesis Awal

Hipotesis atau perkiraan tentang hasil akhir penelitian tugas akhir ini adalah :

Motor 3 fasa pada saat beroperasi dapat berisiko terjadi adanya gangguan yang tidak diduga yang dapat mengakibatkan motor induksi 3 fasa rusak seperti terjadinya gangguan tidak seimbang dan temperatur lebih, oleh karena itu dari

tugas akhir ini ingin merancang sebuah alat yang dapat memproteksi terjadinya gangguan tidak seimbang dan temperatur lebih tersebut agar dapat mengurangi terjadinya kerusakan pada motor induksi 3 fasa. Dengan proteksi yang dilakukan menggunakan mikrokontroller dengan menggunakan sensor arus dan sensor suhu, yang diharapkan dapat memproteksi motor induksi 3 fasa dari gangguan-gangguan external misalnya kerusakan yang terjadi diluar sirkuit motor induksi. Dengan ini diharapkan dapat mengetahui lebih detail tentang kestabilan motor induksi saat beroperasi.

1.7 Sistematika Penulisan

Dalam sistematika penulisan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan tentang latar belakang, tujuan, manfaat, rumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, dan sistematika penulisan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan secara garis besar tentang teori dasar yang berhubungan dengan alat yang akan dibuat serta hal-hal yang berhubungan dengan aplikasi alat.

III. METODE PENELITIAN

Berisi langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini, diantaranya waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, komponen dan perangkat penelitian, prosedur kerja dan perancangan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi mengenai hasil pengujian dan membahas terhadap data-data hasil pengujian yang diperoleh dari peralatan yang telah dibuat.

V. SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi simpulan yang diperoleh dari pembuatan dan pengujian alat, dan saran-saran untuk pengembangan mengenai penelitian ini maupun untuk penelitian berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi adalah motor listrik arus bolak balik (AC) yang putaran rotornya tidak sama dengan putaran medan putar pada stator, dengan kata lain putaran rotor dengan putaran medan pada stator terdapat selisih putaran yang disebut slip.

Motor induksi, merupakan motor yang memiliki konstruksi yang baik, harganya lebih murah dan mudah dalam pengaturan kecepatan, stabil ketika berbeban dan mempunyai efisiensi tinggi. Motor induksi adalah motor (AC) yang paling banyak digunakan dalam industri dengan skala besar maupun kecil, dan dalam rumah tangga. Motor induksi ini pada umumnya hanya memiliki satu suplai tenaga yang mengeksitasi belitan stator. Belitan rotornya tidak terhubung langsung dengan sumber tenaga listrik, melainkan belitan ini dieksitasi oleh induksi dari perubahan medan magnetik yang disebabkan oleh arus pada belitan stator.^[1]

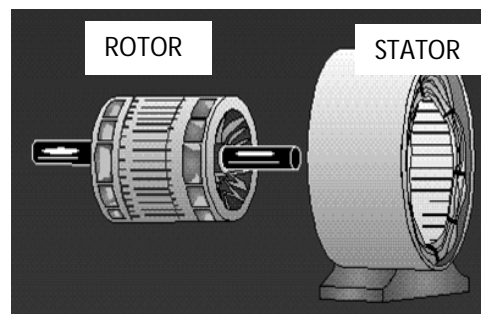
Hampir semua motor ac yang digunakan adalah motor induksi, terutama motor induksi tiga fasa yang paling banyak dipakai di perindustrian karena banyak memiliki keuntungan, tetapi ada juga kelemahannya.

1. Keuntungan motor induksi tiga fasa:
 - a. Motor induksi tiga fasa sangat sederhana dan kuat.

- b. Biayanya murah dan dapat diandalkan.
 - c. Motor induksi tiga fasa memiliki efisiensi yang tinggi pada kondisi kerja normal.
 - d. Perawatannya mudah
2. Kerugian motor induksi tiga fasa:
- a. Kecepatannya tidak bisa bervariasi tanpa merubah efisiensi.
 - b. Kecepatannya tergantung beban.
 - c. Pada torsi start memiliki kekurangan.^[1]

2.2 Konstruksi motor induksi tiga fasa

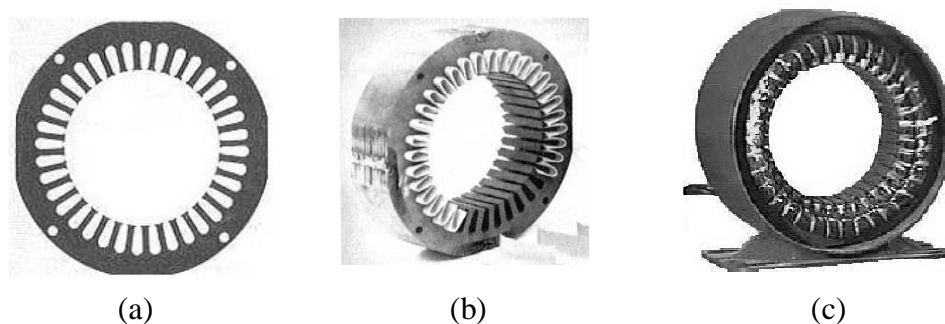
Motor induksi adalah motor ac yang paling banyak dipergunakan, karena konstruksinya yang kuat dan karakteristik kerjanya yang baik. Secara umum motor induksi terdiri dari rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak, sedangkan stator bagian yang diam. Diantara stator dengan rotor ada celah udara yang jaraknya sangat kecil.^[1]



Gambar 2.1 gambar konstruksi motor induksi ^[1]

Komponen stator adalah bagian terluar dari motor yang merupakan bagian yang diam dan mengalirkan arus fasa. Stator terdiri atas tumpukan laminasi inti yang memiliki alur yang menjadi tempat kumparan dililitkan yang berbentuk

silindris. Alur pada tumpukan laminasi inti di isolasi dengan kertas (gambar b). Tiap elemen laminasi inti dibentuk dari lembaran besi (gambar a). Tiap lembaran besi tersebut memiliki beberapa alur dan beberapa lubang pengikat untuk menyatukan inti. Tiap kumparan tersebar dalam alur yang disebut belitan fasa dimana untuk motor tiga fasa, belitan tersebut terpisah secara listrik sebesar 120° . Kawat kumparan yang digunakan terbuat dari tembaga yang dilapis dengan isolasi tipis. Kemudian tumpukan inti dan belitan stator diletakkan dalam cangkang silindris (gambar c). berikut ini contoh lempengan laminasi inti. Lempengan inti yang telah disatukan, belitan stator yang telah diletakkan pada cangkang luar untuk motor induksi tiga fasa.^[1]



Gambar 2.2 Menggambarkan komponen stator motor induksi tiga fasa^[1]

- a. Lempengan inti,
- b. Tumpukan inti dengan kertas isolasi pada beberapa alurnya.
- c. Tumpukan inti dan kumparan dalam cangkang stator.

2.3 Jenis Motor Induksi Tiga Fasa Dari Segi Rotor

Ada dua jenis motor induksi tiga fasa berdasarkan rotornya yaitu:

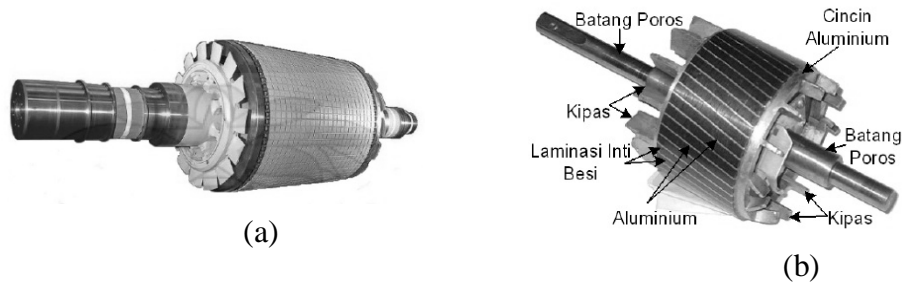
- a. Motor induksi tiga fasa rotor sangkar tupai
- b. Motor induksi tiga fasa rotor belitan

Kedua motor ini bekerja pada prinsip yang sama dan mempunyai prinsip konstruksi stator yang sama tetapi berbeda dalam konstruksi rotor.

2.4 Motor induksi tiga fasa rotor sangkar tupai

Penampang motor sangkar tupai memiliki konstruksi yang sederhana. Inti stator pada motor sangkar tupai tiga fasa terbuat dari lapisan-lapisan pelat baja beralur yang didukung dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau pelat baja yang dipabrikasi. Lilitan-lilitan kumparan stator diletakkan dalam alur stator yang terpisah 120° derajat listrik. Lilitan fasa ini dapat tersambung dalam hubungan delta (Δ) ataupun bintang (Y)^[1]

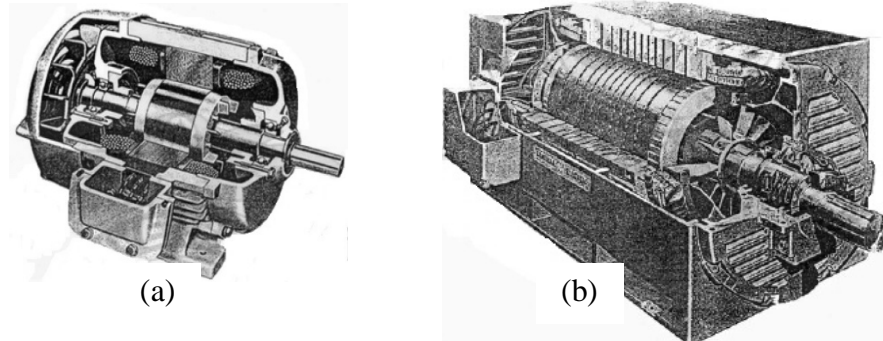
Rotor jenis sangkar ditunjukkan pada Gambar 2.3 dibawah ini^[1]



(a) Tipikal rotor sangkar, (b) Bagian – bagian rotor sangkar^[1]

Batang rotor dan cincin ujung motor sangkar tupai yang lebih kecil adalah coran tembaga atau aluminium dalam satu lempeng pada inti rotor. Dalam motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan dibenamkan kedalam alur rotor dan kemudian dilas dengan kuat kecincin ujung. Batang rotor motor sangkar tupai tidak selalu ditempatkan paralel terhadap poros motor tetapi kerap kali dimiringkan hal ini akan menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi derau dengung magnetik sewaktu motor sedang berputar. Pada ujung cincin penutup diletakkan sirip yang berfungsi sebagai pendingin.^[1]

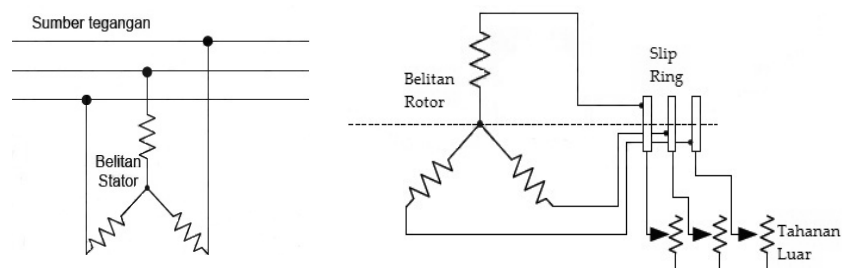
Motor induksi dengan rotor sangkar ditunjukkan pada Gambar 2.4 dibawah ini



Gambar 2.4 (a) konstruksi motor induksi rotor sangkar ukuran kecil
(b) konstruksi motor induksi rotor sangkar ukuran besar ^[1]

2.5 Motor induksi tiga fasa rotor belitan

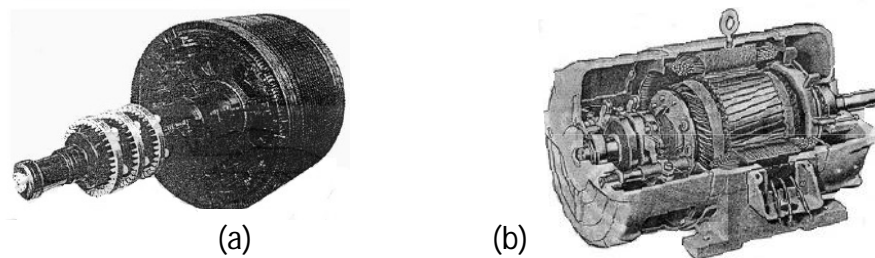
Motor rotor belitan (motor cincin slip) berbeda dengan motor sangkar tupai dalam hal konstruksi rotornya. Seperti namanya, rotor dililit dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. Lilitan fasa rotor dihubungkan secara Y dan masing-masing fasa ujung terbuka yang dikeluarkan kecincin slip yang terpasang pada poros motor. Secara skematik dapat dilihat pada gambar 2.5 dari gambar ini dapat dilihat bahwa cincin slip dan sikat semata-mata merupakan penghubung tahanan kendali variabel luar kedalam rangkaian rotor. ^[1]



Gambar 2.5 skematik diagram motor induksi rotor belitan ^[1]

Pada gambar 2.5 motor ini, cincin slip yang terhubung ke sebuah tahanan variabel eksternal yang berfungsi membatasi arus pengasutan dan yang bertanggung jawab terhadap pemanasan rotor. Selama pengasutan, penambahan tahanan eksternal pada rangkaian rotor belitan menghasilkan torsi pengasutan yang lebih besar dengan arus pengasutan yang lebih kecil disbanding dengan rotor sangkar.

Konstruksi motor tiga fasa rotor belitan ditunjukkan pada gambar 2.6 dibawah ini.^[1]



Gambar 2.6 (a) rotor belitan,
(b) konstruksi motor induksi tiga fasa dengan rotor belitan^[1]

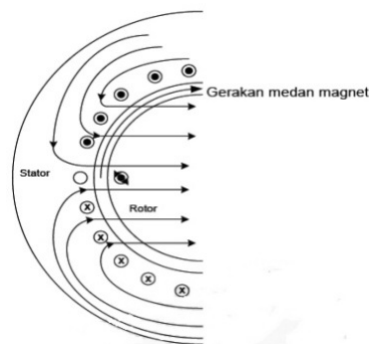
2.6 Prinsip kerja motor induksi tiga fasa

Motor induksi adalah peralatan pengubah energi listrik ke bentuk energi mekanik. Pengubahan energi ini bergantung pada keberadaan fenomena alami magnet, medan listrik, gaya mekanis dan gerak.

Jika pada belitan stator diberi tegangan tiga fasa, maka pada belitan stator akan mengalir arus tiga fasa, arus ini menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron (n_s). medan magnet ini akan memotong belitan rotor, sehingga pada belitan rotor akan diinduksikan tegangan seperti halnya tegangan yang diinduksikan dalam lilitan sekunder transformator oleh fluksi yang

dihasilkan arus pada belitan primer. Rangkaian rotor merupakan rangkaian tertutup, baik melalui cincin ujung atau tahanan luar. Tegangan induksi pada rotor akan menghasilkan arus yang mengalir pada belitan rotor. Arus yang mengalir pada belitan rotor berada dalam medan magnet yang dihasilkan stator, sehingga pada belitan rotor akan dihasilkan gaya (F). gaya ini akan menghasilkan torsi (τ) dan jika torsi yang dihasilkan lebih besar dari torsi beban, maka rotor akan berputar dengan kecepatan n_r yang searah dengan medan putar stator.

Gambar dibawah ini menggambarkan penampang stator dan rotor motor induksi, dengan medan magnet diumpamakan berputar searah jarum jam ^[1]



Gambar 2.7 penampang rotor dan stator yang memperlihatkan medan magnet dalam celah udara ^[1]

Untuk arah fluksi dan gerak yang ditunjukkan gambar 2.7 diatas, penggunaan aturan tangan kanan fleming bahwa arah arus induksi dalam konduktor rotor menuju pembaca. Pada kondisi seperti itu, dengan konduktor yang mengalirkan arus berada dalam medan magnet seperti yang ditunjukkan, gaya pada konduktor mengarah keatas karena medan magnet di bawah konduktor lebih akurat dari pada medan diatasnya. Agar sederhana, hanya satu konduktor rotor yang diperlihatkan. Tetapi konduktor-konduktor rotor yang berdekatan lainnya dalam medan stator juga mengalirkan arus dalam arah seperti pada

konduktor yang ditunjukkan, dan juga mempunyai suatu gaya kearah atas yang dikerahkan pada mereka. Pada setengah siklus berikutnya, arah medan stator akan dibalik, tetapi arus rotor juga akan dibalik, sehingga gaya pada rotor tetap keatas. Demikian pula konduktor rotor dibawah kutub-kutub medan stator lain akan mempunyai gaya yang semuanya cenderung memutar rotor searah jarum jam. Jika kopel yang dihasilkan cukup besar untuk mengatasi kopel beban yang menahan, motor akan melakukan percepatan searah jarum jam atau dalam arah yang sama dengan perputaran medan magnet stator.^[1]

Untuk memperjelas prinsip kerja motor induksi tiga fasa, maka dapat dijabarkan dalam langkah-langkah sebagai berikut:

1. Ketika tegangan tiga fasa yang seimbang diberikan pada belitan stator, maka belitan stator akan menghasilkan arus yang mengalir pada tiap-tiap fasanya.
2. Arus pada setiap fasa stator akan menghasilkan fluksi yang berubah terhadap waktu.
3. Amplitudo fluksi yang dihasilkan pada fasa stator berubah secara sinusoidal dan arahnya tegak lurus terhadap belitan.
4. Penjumlahan dari ketiga fluksi pada belitan stator disebut medan putar yang berputar dengan kecepatan sinkron (n_s), besarnya nilai n_s ditentukan oleh jumlah kutub p dan frekuensi f yang dirumuskan dengan

$$n_s = \frac{120xf}{p} (rpm) \dots\dots\dots (2.1)$$

5. Akibat fluksi yang berputar tersebut maka timbul tegangan induksi pada belitan stator yang besarnya dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} (\text{volt}) \text{ atau } E_1 = 4,44fN_1\Phi_{max} (\text{volt}) \dots\dots\dots(2.2)$$

6. Fluksi yang berputar tersebut juga memotong belitan rotor. Akibatnya pada belitan rotor akan dihasilkan tegangan induksi (ggl) sebesar E_2 yang besarnya dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$e_1 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} (\text{volt}) \dots\dots\dots(2.3)$$

$$E_1 = 4,44fN_2\Phi_{max} (\text{volt}) \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

E_2 = tegangan induksi pada rotor saat rotor dalam keadaan diam (volt)

N_2 = jumlah lilitan kumparan rotor

Φ_{max} = fluksi maksimum (Wb)

7. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka tegangan induksi tersebut akan menghasilkan arus I_2 .
8. Arus I_2 ini berada pada medan magnet yang dihasilkan oleh stator, sehingga pada belitan rotor akan dihasilkan gaya (F).^[1]
9. Gaya (F) ini akan menghasilkan torsi (τ), jika torsi yang dihasilkan ini lebih besar dari torsi beban, maka rotor akan berputar dengan kecepatan n_s yang searah dengan medan putar stator.

10. Ada perbedaan kecepatan medan putar pada stator (n_s) dengan kecepatan putaran rotor (n_r), perbedaan ini disebut slip (s) yang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

11. Setelah rotor dalam keadaan berputar, besarnya tegangan yang diinduksikan pada belitan rotor akan dipengaruhi atau tergantung terhadap slip (s). tegangan induksi pada rotor dalam keadaan ini dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$E_{2s} = 4,44sfN_2\Phi_{max} (volt) \dots\dots\dots(2.6)$$

$$E_{2s} = sE_2 \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana

E_{2s} = tegangan pada rotor dalam keadaan berputar (volt)

$f_2 = s.f$ = frekuensi rotor (frekuensi tegangan induksi pada rotor dalam keadaan berputar)

12. Akibat adanya slip (s), maka nilai frekuensi pada rotor (f_2) dan reaktansi rotor (x_2) akan dipengaruhi oleh slip, yang dapat dinyatakan dengan $s f$ dan $s x_2$.

13. Jika kecepatan putaran rotor (n_r) sama dengan kecepatan medan putar stator (n_s), maka slip bernilai nol, tidak ada fluks yang memotong belitan rotor sehingga pada belitan rotor tidak diinduksikan tegangan, maka tidak ada arus yang mengalir pada belitan rotor, sehingga rotor tidak berputar, karena tidak ada gaya yang terjadi pada rotor.^[1]

2.7 Efisiensi

Efisiensi motor induksi adalah ukuran keefektifan motor induksi untuk mengubah energy listrik menjadi energi mekanis yang dinyatakan sebagai perbandingan antara masukan dan keluaran atau dalam bentuk energi listrik berupa perbandingan watt keluaran dan watt masukan. Definisi NEMA terhadap efisiensi energy adalah bahwa efisiensi merupakan perbandingan atau rasio dari daya keluaran yang berguna terhadap daya input total dan biasanya dinyatakan dalam persen juga sering dinyatakan dengan perbandingan antara keluaran dengan keluaran ditambah rugi-rugi, yang dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{in} - P_{loss}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.8)$$

Dari persamaan terlihat efisiensi motor bergantung pada besar rugi-ruginya. Rugi-rugi pada persamaan tersebut adalah penjumlahan keseluruhan komponen rugi-rugi yang dibahas sebelumnya. Pada motor induksi pengukuran efisiensi motor induksi ini sering dilakukan dengan beberapa cara seperti:

1. Mengukur langsung daya elektris masukan dan daya mekanis keluaran
2. Mengukur langsung seluruh rugi-rugi dan daya masukan
3. Mengukur setiap komponen rugi-rugi dan daya masukan,

Dimana pengukuran daya masukan tetap dibutuhkan pada ketiga cara diatas. Umumnya, daya elektris dapat diukur dengan sangat tepat, keberadaan daya mekanis yang lebih sulit untuk diukur. Saat ini sudah dimungkinkan untuk meukur torsi dan kecepatan dengan cukup akurat yang bertujuan untuk mengetahui harga efisiensi yang tepat. Pengukuran pada keseluruhan rugi-rugi ada yang berdasarkan teknik kalorimeter. Walaupun pengukuran dengan metode ini

relatif sulit dilakukan, keakuratan yang dihasilkan dapat disbanding dengan hasil yang didapat dengan pengukuran langsung pada daya keluarannya.

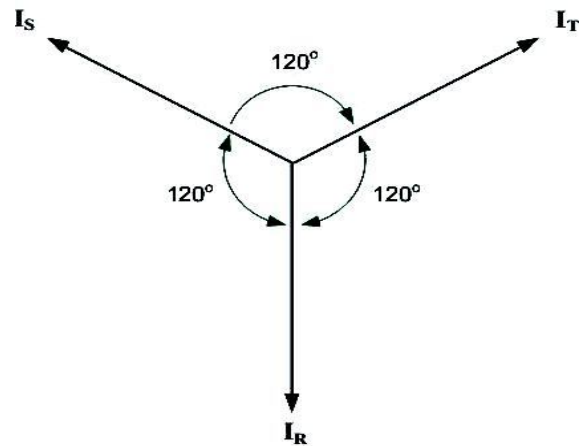
Kebanyakan pabrikan lebih memilih melakukan pengukuran komponen rugi-rugi secara individual, karena dalam teorinya metode ini tidak memerlukan pembebanan pada motor, dan ini adalah suatu keuntungan bagi pabrikan. Keuntungan lainnya yang sering disebut-sebut adalah bahwa memang benar error pada komponen rugi-rugi secara individual tidak begitu mempengaruhi keseluruhan efisiensi. Keuntungannya terutama adalah fakta bahwa ada kemungkinan koreksi untuk temperature lingkungan yang berbeda. Biasanya data efisiensi yang disediakan oleh pembuat diukur atau dihitung berdasarkan standar tertentu.^[1]

2.8 Ketidak Seimbangan Beban

2.8.1. pengertian tentang beban tidak seimbangan

Yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbangan adalah

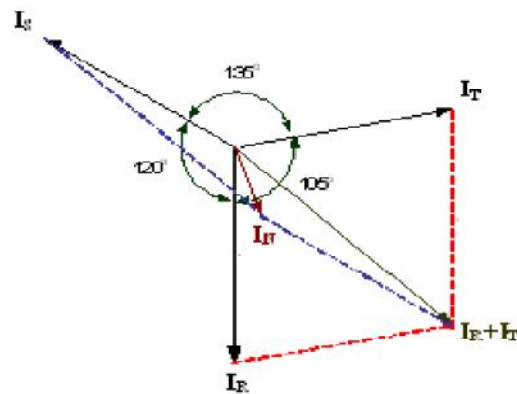
1. Ketiga vektor arus / tegangan adalah sama besar
2. Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain, seperti yang terlihat pada Gambar di samping ini :



Gambar 2.8 Vektor Diagram Arus Keadaan Seimbang

Dari gambar 2.8 di atas menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_r , I_s , I_t) adalah sama dengan nol. Sehingga tidak muncul arus netral. Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan setimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada tiga yaitu :

1. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain
 2. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain
 3. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Seperti yang terlihat pada di bawah ini :



Gambar 2.9 Vektor Diagram Arus Keadaan Tidak Seimbang

Dari gambar 2.9 menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya ($I_r+I_s+I_t$) adalah tidak sama dengan nol sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung pada seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

2.8.2. rugi – rugi daya pada transformator

Arus netral pada suatu sistem distribusi tenaga listrik adalah arus yang mengalir pada kawat netral di suatu sistem transformator tenaga, arus yang mengalir pada penghantar netral transformator menyebabkan rugi-rugi (*losses*) . rugi-rugi pada penghantar netral transformator dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

P_N : rugi –rugi pada penghantar netral transformator (watt)

I_N : arus yang mengalir pada netral transformator (A)

R_N : tahanan penghantar netral transformator (ohm)

Sedangkan rugi-rugi yang diakibatkan karena arus netral mengalir ke tanah

(ground) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

P_G = rugi – rugi arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

I_G = arus netral yang mengalir ke tanah (A)

RG = tanah pembumian netral transformator (ohm) Ω

2.8.3. Arus netral

Jika I adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi tidak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b, dan c adalah

$$[I_a] = a[I]$$

$$[I_b] = b[I]$$

$$[I_c] = c[I]$$

Dengan I_a , I_b , dan I_c berturut adalah arus fasa R, S dan T.

Bila faktor daya dari ketiga fasa dianggap sama meskipun besaran arusnya berbeda, besaran daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai :

$$P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \varphi \dots \dots \dots (2.11)$$

Apabila persamaan $P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \varphi$ dan persamaan $P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \varphi$ menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, c yaitu

$$a + b + c = 3$$

dimana dalam keadaan seimbang nilai $a = b = c = 1$

dengan anggapan yang sama. Arus yang mengalir pada kawat netral dapat dinyatakan sebagai berikut

$$I_N = I_a + I_b + I_c$$

$$= [I] \{ a + b \cos (-120) + j.b.\sin (-120) + c.\cos (-120) + j.c.\sin (120) \}$$

$$= [I] \{ a - (b + c) / 2 + j. (c - b) \sqrt{3} / 2 \}$$

Pada keadaan seimbang besarnya koefisien a, b, c adalah 1. Dengan demikian rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah

$$= \frac{(|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|)}{3} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.12)$$

$$a = \frac{I_r}{I}, b = \frac{I_s}{I}, c = \frac{I_t}{I} \dots\dots\dots(2.13)$$

I_r = arus pada fasa r

I_s = arus pada fasa s

I_t = arus pada fasa t

I = jumlah rata-rata arus tiap fasa

Untuk arus tiga fasa dari suatu sistem yang tidak seimbang dapat juga diselesaikan dengan menggunakan metode komponen simetris. Dengan menggunakan notasi-notasi yang sama seperti pada tegangan akan didapatkan persamaan-persamaan untuk arus-arus fasanya sebagai berikut :

$$I_a = I_1 + I_2 + I_0 \dots\dots\dots(2.14)$$

$$I_b = a^2 I_1 + a I_2 + I_0 \dots\dots\dots(2.15)$$

$$I_c = a I_1 + a^2 I_2 + I_0 \dots\dots\dots(2.16)$$

Dengan tiga langkah yang telah dijabarkan dalam menentukan tegangan urutan positif, urutan negative, dan urutan nol terdahulu, maka arus-arus urutan juga dapat ditentukan dengan cara yang sama, sehingga kita dapatkan juga :

$$I_1 = 1/3(I_a + a I_b + a^2 I_c) \dots \dots \dots (2.17)$$

$$I_2 = 1/3(I_a + a^2 I_b + a I_c) \dots \dots \dots (2.18)$$

$$I_0 = 1/3(I_a + I_b + I_c) \dots \dots \dots (2.19)$$

Di sini terlihat bahwa arus urutan nol adalah merupakan sepertiga dari arus netral atau sebaliknya akan menjadi nol jika dalam sistem tiga fasa empat kawat. Dalam sistem tiga fasa empat kawat ini jumlah arus saluran sama dengan arus netral yang kembali lewat kawat netral, menjadi :

$$I_N = I_a + I_b + I_c$$

Dengan mensubstitusikan persamaan

$$I_N = 3 I_0$$

Dalam sistem tiga fasa empat kawat ini jumlah arus dalam saluran sama dengan arus netral yang kembali lewat kawat netral. Jika arus-arus fasanya seimbang maka arus netralnya akan bernilai nol, tapi jika arus-arus fasanya tidak seimbang, maka akan ada arus yang mengalir di kawat netral sistem (arus yang mengalir pada kawat netral tidak sama dengan nol).

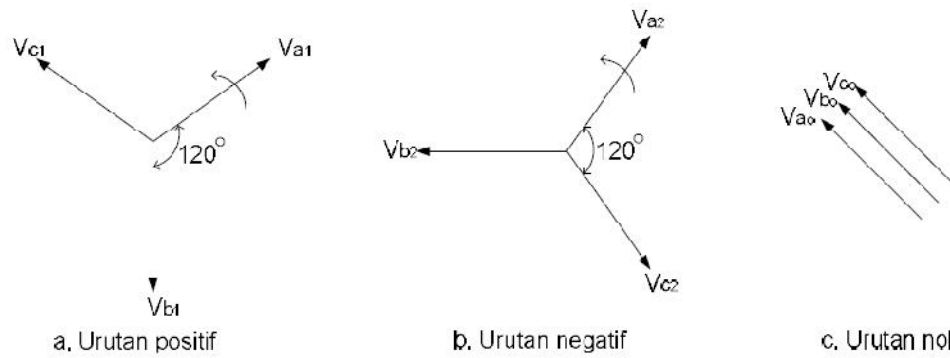
2.9 Analisis Ketidakseimbangan Beban

Menurut Fortescue yang menyatakan tiga fasor tegangan tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga fasa yang seimbang dengan menggunakan komponen simetris (Stevenson, 1993). Komponen simetris tersebut

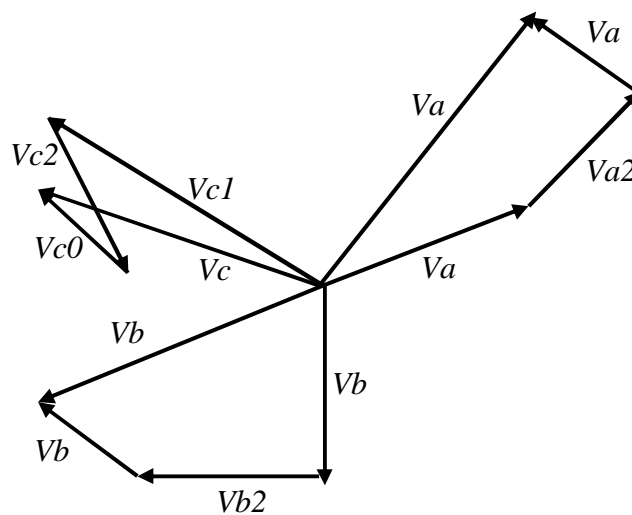
yaitu urutan positif, negatif dan urutan nol. Himpunan komponen seimbang tersebut antara lain:

1. Komponen urutan positif yang terdiri dari tiga fasor yang sama besar, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya.
2. Komponen urutan negatif yang terdiri dari tiga fasor yang sama besar, terpisah satu dengan yang lain dalam fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya.
3. Komponen urutan nol yang terdiri dari tiga fasor yang sama besar dan dengan pergeseran nol antara fasor yang satu dengan yang lain.

Pemecahan masalah dengan menggunakan komponen simetris bahwa ketiga fasa dari sistem dinyatakan sebagai a , b , dan c dengan cara yang demikian sehingga urutan fasa tegangan dan arus dalam sistem adalah abc , sehingga fasa komponen urutan positif dari fasor tak seimbang itu adalah abc , sedangkan urutan fasa dari komponen urutan negatif adalah acb . Jika fasor aslinya adalah tegangan, maka tegangan tersebut dapat dinyatakan V_a , V_b , dan V_c . Komponen urutan positif untuk V_a , V_b , dan V_c adalah V_{a1} , V_{b1} , dan V_{c1} . Demikian pula komponen urutan negative adalah V_{a2} , V_{b2} , dan V_{c2} , sedangkan komponen urutan nol adalah V_{a0} , V_{b0} , dan V_{c0} . Gambar (2.3) menunjukkan tiga himpunan komponen simetris.



Gambar 2.10. Representasi komponen simetris



Gambar 2.11. Penjumlahan secara grafis komponen-komponen

Tegangan tak seimbang setiap fasanya merupakan penjumlahan masing-masing komponen simetris yaitu:

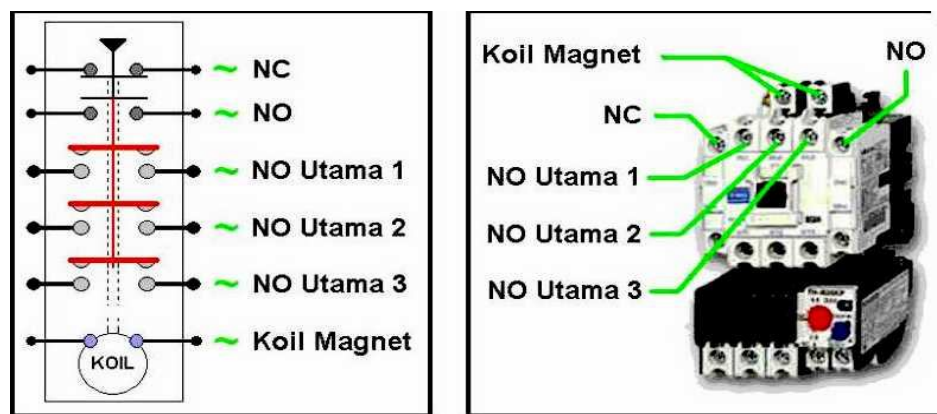
$$\text{Tegangan fasa a, } V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$\text{Tegangan fasa b, } V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0}$$

$$\text{Tegangan fasa c, } V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0}$$

2.10 Kontaktor Magnet

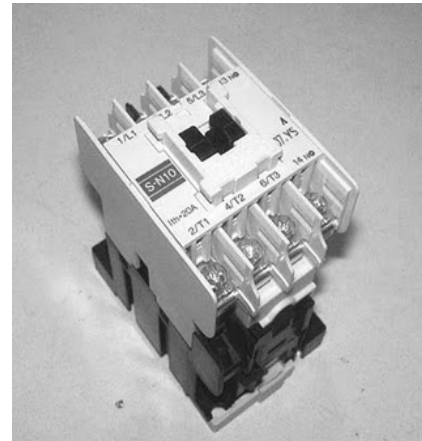
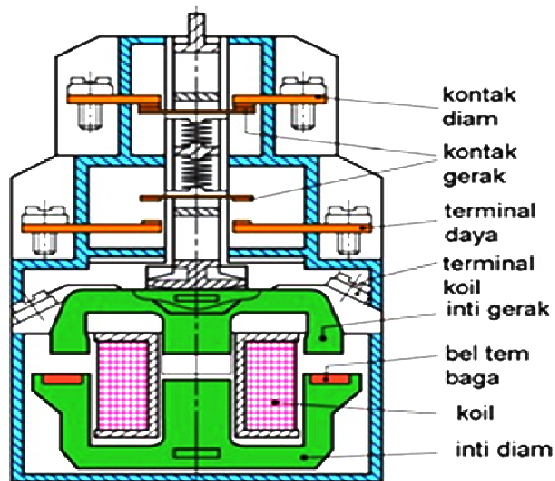
Kontaktor merupakan peralatan listrik yang bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Kontaktor magnet akan bekerja apabila kumparan dialiri arus listrik maka inti pada kumparan akan menjadi magnet yang akan menarik kontak pada kontaktor sehingga kontak NO (*Normaly open*) akan bekerja, disisi lain kontak NC (*Normaly close*) akan membuka, sehingga dalam melakukan perancangan dalam penggunaan kontaktor magnet sangat penting dalam mengkonfigurasi input masing – masing kontak. Seperti terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.12 Kontruksi Kontaktor Magnet ^[2]

Pada gambar di atas terlihat kontak–kontak yang ada pada sebuah kontaktor magnet, kontak NC akan membuka ketika kontaktor magnet bekerja hal ini terjadi ketika kumparan magnet pada kontaktor mendapat aliran listrik sehingga plat kontak akan tertarik. Pada kontak NO akan menjadi tertarik dan kontak menutup sehingga arus listrik dapat mengalir ke rangkaian motor induksi.

Seperti terlihat pada gambar 2.13 berikut ini konstruksi kontaktor magnet secara ditail :



Gambar Belahan Kontaktor Magnet ^[2]

Gambar Kontaktor Magnet ^[2]

2.11 Arduino Uno

Arduino Uno adalah arduino board yang menggunakan mikrokontroler ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 pin digital (6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, sebuah 16 MHz osilator kristal, sebuah koneksi USB, sebuah konektor sumber tegangan, sebuah header ICSP, dan sebuah tombol reset. Arduino Uno memuat segala hal yang dibutuhkan untuk mendukung sebuah mikrokontroler. Hanya dengan menghubungkannya ke sebuah komputer melalui USB atau memberikan tegangan DC dari baterai atau adaptor AC ke DC sudah dapat membuanya bekerja. Arduino Uno menggunakan mikrokontroler yang diprogram sebagai *USB-to-serial converter* untuk komunikasi serial ke computer melalui port USB. Tampak atas dari arduino uno dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Adapun data teknis board Arduino UNO R3 adalah sebagai berikut:

- ❖ Mikrokontroler

- ❖ Tegangan Operasi : 5V
- ❖ Tegangan Input (recommended) : 7 - 12 V
- ❖ Tegangan Input (limit) : 6-20 V
- ❖ Pin digital I/O : 14 (6 diantaranya pin PWM)
- ❖ Pin Analog input : 6
- ❖ Arus DC per pin I/O : 40 mA
- ❖ Arus DC untuk pin 3.3 V : 150 mA
- ❖ Flash Memory : 32 KB dengan 0.5 KB digunakan untuk bootloader
- ❖ SRAM : 2 KB
- ❖ EEPROM : 1 KB
- ❖ Kecepatan Pewaktuan : 16 Mhz



Gambar 2.14 Arduino Uno

1. Pin Masukan dan Keluaran Arduino Uno

Masing-masing dari 14 pin digital arduino uno dapat digunakan sebagai masukan atau keluaran menggunakan fungsi pin Mode (), digital Write () dan digital Read (). Setiap pin beroperasi pada tegangan 5 volt. Setiap pin mampu menerima atau menghasilkan arus maksimum sebesar 40 mA dan memiliki

resistor *pull-up* internal (diputus secara default) sebesar 20-30 KOhm. Sebagai tambahan, beberapa pin masukan digital memiliki kegunaan khusus yaitu:

- a. Komunikasi serial: pin 0 (RX) dan pin 1 (TX), digunakan untuk menerima(RX) dan mengirim(TX) data secara serial.
- b. External Interrupt: pin 2 dan pin 3, pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu sebuah interrupt pada nilai rendah, sisi naik atau turun, atau pada saat terjadi perubahan nilai.
- c. Pulse-width modulation (PWM): pin 3,5,6,9,10 dan 11, menyediakan keluaran PWM 8-bit dengan menggunakan fungsi `analogWrite()`.
- d. Serial Peripheral Interface (SPI): pin 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) dan 13 (SCK), pin ini mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan SPI library.
- e. LED: pin 13, terdapat built-in LED yang terhubung ke pin digital 13. Ketika pin bernilai HIGH maka LED menyala, sebaliknya ketika pin bernilai LOW maka LED akan padam.

Arduino Uno memiliki 6 masukan analog yang diberi label A0 sampai A5, setiap pin menyediakan resolusi sebanyak 10 bit (1024 nilai yang berbeda). Secara default pin mengukur nilai tegangan dari ground (0V) hingga 5V, walaupun begitu dimungkinkan untuk mengganti nilai batas atas dengan menggunakan pin AREF dan fungsi `analogReference()`. Sebagai tambahan beberapa pin masukan analog memiliki fungsi khusus yaitu pin A4 (SDA) dan pin A5 (SCL) yang digunakan untuk komunikasi *Two Wire Interface* (TWI) atau *Inter Integrated Circuit* (I2C) dengan menggunakan Wire library.

2. Sumber Daya dan Pin Tegangan Arduino Uno

Arduino uno dapat diberi daya melalui koneksi USB (Universal Serial Bus) atau melalui power supply eksternal. Jika arduino uno dihubungkan ke kedua sumber daya tersebut secara bersamaan maka arduino uno akan memilih salah satu sumber daya secara otomatis untuk digunakan. Power supply external (yang bukan melalui USB) dapat berasal dari adaptor AC ke DC atau baterai. Adaptor dapat dihubungkan ke soket power pada arduino uno. Jika menggunakan baterai, ujung kabel yang dibubungkan ke baterai dimasukkan kedalam pin GND dan Vin yang berada pada konektor POWER. Arduino uno dapat beroperasi pada tegangan 6 sampai 20 volt. Jika arduino uno diberi tegangan di bawah 7 volt, maka pin 5V akan menyediakan tegangan di bawah 5 volt dan arduino uno mungkin bekerja tidak stabil. Jika diberikan tegangan melebihi 12 volt, penstabil tegangan kemungkinan akan menjadi terlalu panas dan merusak arduino uno. Tegangan rekomendasi yang diberikan ke arduino uno berkisar antara 7 sampai 12 volt.

Pin-pin tegangan pada arduino uno adalah sebagai berikut:

- a. Vin adalah pin untuk mengalirkan sumber tegangan ke arduino uno ketika menggunakan sumber daya eksternal (selain dari koneksi USB atau sumber daya yang teregulasi lainnya). Sumber tegangan juga dapat disediakan melalui pin ini jika sumber daya yang digunakan untuk arduino uno dialirkan melalui soket power.
- b. 5V adalah pin yang menyediakan tegangan teregulasi sebesar 5 volt berasal dari regulator tegangan pada arduino uno.

- c. 3V3 adalah pin yang menyediakan tegangan teregulasi sebesar 3,3 volt berasal dari regulator tegangan pada arduino uno.
- d. GND adalah pin ground.

3. Bahasa Pemrograman Arduino

Arduino board merupakan perangkat yang berbasis mikrokontroler. Perangkat lunak (*software*) merupakan komponen yang membuat sebuah mikrokontroler dapat bekerja. Arduino board akan bekerja sesuai dengan perintah yang ada dalam perangkat lunak yang ditanamkan padanya. Bahasa Pemrograman Arduino adalah bahasa pemrograman utama yang digunakan untuk membuat program untuk arduino board. Bahasa pemrograman arduino menggunakan bahasa pemrograman C sebagai dasarnya.

4. Fungsi Masukan dan Keluaran Digital

Arduino memiliki 3 fungsi untuk masukan dan keluaran digital pada arduino board, yaitu `pinMode()`, `digitalWrite()` dan `digitalRead()`. Fungsi `pinMode()` mengkonfigurasi pin tertentu untuk berfungsi sebagai masukan atau keluaran. Sintaksis untuk fungsi `pinMode()` adalah sebagai berikut:

`pinMode(pin, mode)` Parameter: `pin` = angka dari pin digital yang akan dikonfigurasi `mode` = konfigurasi yang diinginkan (`INPUT`, `INPUT_PULLUP` dan `OUTPUT`). Fungsi `digitalWrite()` berfungsi untuk memberikan nilai `HIGH` atau `LOW` suatu digital pin. Sintaksis untuk fungsi `digitalWrite()` adalah sebagai berikut: `digitalWrite(pin, value)` Parameter: `pin` = angka dari pin digital yang akan dikonfigurasi `value` = nilai yang diinginkan (`HIGH` atau `LOW`). Fungsi

`digitalRead()` bertujuan untuk membaca nilai yang ada pada pin arduino uno.

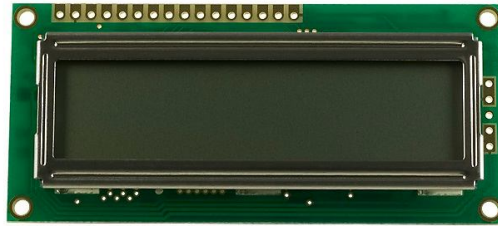
Sintaksis untuk fungsi `digitalRead()` adalah sebagai berikut: `digitalRead(pin)`

Parameter: `pin` = angka dari pin digital yang akan dibaca berikut ini adalah contoh penggunaan fungsi masukan dan keluaran digital dalam sebuah program:

```
int ledPin = 13; // LED terhubung ke pin digital 13
int inPin = 7; // pushbutton terhubung ke pin digital 7
int val = 0; // variable untuk menyimpan sebuah nilai
void setup()
{
pinMode(ledPin, OUTPUT); // set pin digital 13 sebagai keluaran
pinMode(inPin, INPUT); // set pin digital 13 sebagai masukan
}
void loop()
{
val = digitalRead(inPin); // baca nilai pin input
digitalWrite(ledPin, val); // sets LED sesuai dengan nilai val }[2.2].
```

2.11.1 LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD merupakan suatu jenis penampil (*display*) yang menggunakan *Liquid Crystal* sebagai media refleksinya. *LCD* juga sering digunakan dalam perancangan alat yang menggunakan mikrokontroler. *LCD* dapat berfungsi untuk menampilkan suatu nilai hasil sensor, menampilkan *teks*, atau menampilkan menu pada aplikasi mikrokontroler. Tergantung dengan perintah yang ditulis pada mikrokontroller.



Gambar 2.17 *LCD 2 x 16 Karakter*^[3]

LCD yang akan digunakan dalam pembuatan alat pengaturan pakan pada tambak atau kolam ini adalah *LCD* dengan tipe karakter 2 x 16 yaitu alat penampil yang dibuat pabrikan umum dijual dipasaran standar dan dapat menampilkan karakter 2 baris dengan tiap baris 16 karakter. Pada pembuatan alat ini *LCD* digunakan sebagai penampil jam dan berat pakan apabila tombol *push button* ditekan. Oleh sebab itu harus di atur terlebih dahulu antara sensor berat dengan tombol-tombol *push button* kemudian dikonversi oleh *ADC* pada mikrokontroler.^[3]

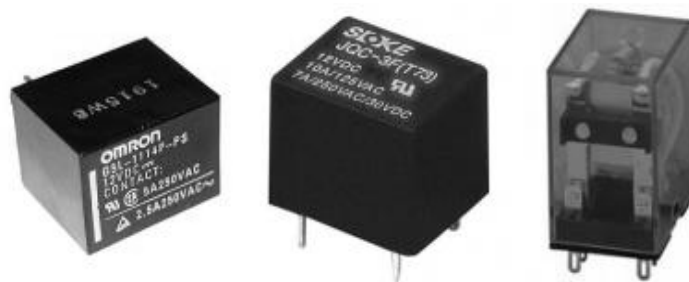
2.12 Relay

Relay adalah sebuah saklar elektronis yang dapat dikendalikan dari rangkaian elektronik lainnya. *Relay* akan bekerja berdasarkan magnet remanen yang berada didekat kontak *relay*, sehingga apabila kumparan pada *relay* dihubungkan dengan sumber tegangan maka *relay* akan bekerja. Pada *relay* ada dua kondisi yaitu kondisi NO dan NC *relay*, kondisi NO akan menjadi NC apabila *relay* dalam kondisi bekerjadan berlaku kondisi sebaliknya. *Relay* terdiri dari 3 bagian utama, yaitu :

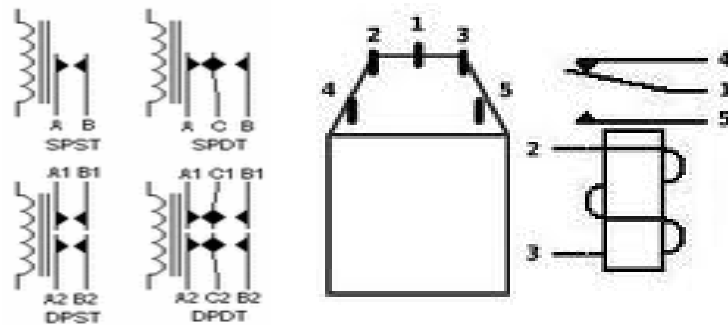
- Koil : lilitan.
- Common: bagian yang terhubung dengan NC (dalam keadaan normal).
- Kontak : terdiri dari NO (*normaly open*) dan NC (*normaly closs*).

Ada beberapa jenis *relay* antara lain :

- Relay SPST : *Single Pole Single Throw*.
- Relay SPDT : *Single Pole Double Throw*, terdiri dari 5 buah *pin* yaitu : (2) koil, (1) *common*, (1) NC, (1) NO.
- Relay DPST : *Double Pole Single Throw*, setara dengan 2 buah saklar atau *relay* SPST.
- Relay DPDT : *Double Pole Double Throw*, setara dengan 2 buah saklar atau *relay* DPDT.
- Relay QPDT : *Quadruple Pole Double Throw*, atau 4 PDT, setara dengan saklar atau *relay* SPDT atau 2 buah relai DPDT. Terdiri dari 14 *pin* (termasuk 2 buah untuk koil).



Gambar 2.18 Beberapa Contoh *Relay* DC yang ada dipasaran.



Gambar 2.19 Jenis-jenis *Relay* dan Terminal kaki-kaki *relay*^[2]

2.13 Persyaratan Kualitas Sistem Proteksi

Ada beberapa persyaratan yang sangat perlu diperhatikan dalam suatu perencanaan sistem proteksi yang efektif, yaitu:

a). **Selektivitas dan Diskriminasi**

Efektivitas suatu sistem proteksi dapat dilihat dari kesanggupan sistem dalam mengisolir bagian yang mengalami gangguan saja.

b). **Stabilitas**

Sifat yang tetap inoperatif apabila gangguan-gangguan terjadi diluar zona yang melindungi (gangguan luar).

c). **Kecepatan Operasi**

Sifat ini lebih jelas, semakin lama arus gangguan terus mengalir, semakin besar kemungkinan kerusakan pada peralatan. Hal yang paling penting adalah perlunya membuka bagian-bagian yang terganggu sebelum generator-generator yang dihubungkan sinkron kehilangan sinkronisasi dengan sistem. Waktu pembebasan gangguan yang tipikal dalam sistem-sistem tegangan tinggi adalah 140 ms. Dimana dimasa mendatang waktu ini hendak dipersingkat menjadi 80 ms

sehingga memerlukan relay dengan kecepatan yang sangat tinggi (very high speed relaying).

d). Sensitivitas (kepekaan)

Yaitu besarnya arus gangguan agar alat bekerja. Harga ini dapat dinyatakan dengan besarnya arus dalam jaringan aktual (arus primer) atau sebagai prosentase dari arus sekunder (trafo arus).

e). Pertimbangan ekonomis

Dalam sistem distribusi aspek ekonomis hampir mengatasi aspek teknis, oleh karena jumlah feeder, transformator dan sebagainya yang begitu banyak, asal saja persyaratan keamanan yang pokok dipenuhi. Dalam suatu sistem transmisi justru aspek teknis yang penting. Proteksi relatif mahal, namun demikian pula sistem atau peralatan yang dilindungi dan jaminan terhadap kelangsungan peralatan sistem adalah vital. Biasanya digunakan dua sistem proteksi yang terpisah, yaitu proteksi primer atau proteksi utama dan proteksi pendukung (back up).

f). Realiabilitas (keandalan)

Sifat ini jelas, penyebab utama dari “outage” rangkaian adalah tidak bekerjanya proteksi sebagaimana mestinya (mal operation).

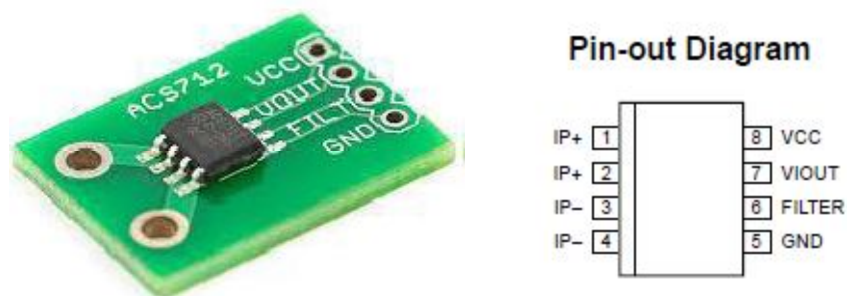
g) Proteksi Pendukung

Proteksi pendukung (back up) merupakan susunan yang sepenuhnya terpisah dan yang bekerja untuk mengeluarkan bagian yang terganggu apabila proteksi utama tidak bekerja (fail). Sistem pendukung ini sedapat mungkin indenpenden seperti halnya proteksi utama, memiliki trafo-trafo dan rele-rele tersendiri. Seringkali hanya tripping CB dan trafo -trafo tegangan yang dimiliki bersama oleh keduanya. Tiap-tiap sistem proteksi utama melindungi suatu area atau zona sistem daya

tertentu. Ada kemungkinan suatu daerah kecil diantara zona na -zona yang berdekatan misalnya antara trafo-trafo arus dan circuit breaker-circuit breaker tidak dilindungi. Dalam keadaan seperti ini sistem back up (yang dinamakan, remote back up) akan memberikan perlindungan karena berlapis dengan zona zona utama. Pada sistem distribusi aplikasi back up digunakan tidak seluas dalam system tansmisi,cukup jika hanya mencakup titik-titik strategis saja. Remote back up akan bereaksi lambat dan biasanya memutus lebih banyak dari yang diperlukan untuk mengeluarkan bagian yang terganggu^[4]

2.14 ACS712

Pengukuran arus biasanya membutuhkan resistor shunt yaitu resistor yang dihubungkan secara seri pada beban dan megubah arus menjadi tegangan. Tegangan tersebut biasanya di umpankan ke *current transformer* terlebih dahulu sebelum masuk kerangkaian pengkondisi sinyal. Teknologi *hall effect* yang diterapkan oleh perusahaan *Allegro* menggantikan *resistor shunt* dan *current transformer* menjadi sebuah sensor yang ukuran yang relatif jauh lebih kecil yaitu ACS712



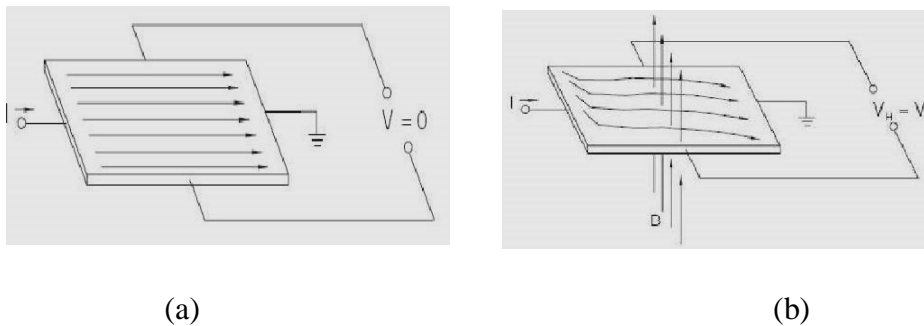
Gambar 2.20 Sensor Arus ACS712^[5]

Istilah *Hall Effect* dikenal setelah Edwin H. Hall (1855-1938) menemukan bahwa jika arus listrik mengalir melalui penghantar yang ditempatkan pada *tranverse* medan magnet yang kuat, akan menghasilkan beda potensial yang melewati penghantar pada kedua sudut penghantar itu. *Hall Effect Sensor* adalah suatu transduser yang dapat mengubah besaran medan magnet menjadi besaran listrik yaitu berupa tegangan. Sensor *Hall effect* digunakan untuk mendeteksi kedekatan, keberadaan atau ketiadaan medan magnet dari suatu objek dengan kritis. Sensor *Hall effect* digunakan untuk sensor perpindahan, sensor letak atau jarak, sensor kecepatan dan sensor arus.

Konduktor atau *Hall Effect* elemen berbentuk lempengan pipih. Pembawa arus di dalamnya didorong ke tepi atas oleh gaya magnet yang bekerja padanya. Gaya ini merupakan gaya nonelektrostatik, besar medan nonelektrostatik sama dengan gaya satuan muatan. Jika pembawa muatan itu elektron, akan ada muatan lebih menumpuk di pinggir atas lempengan dan meninggalkan muatan lebih menumpuk di pinggir bawah, sampai medan elektrostatik *tranverse* dalam konduktor sama dan berlawanan dengan nonelektrostatik.

Arus transversal akhir sama dengan nol, maka konduktor itu berada pada “rangkaiian terbuka” dalam arah transversal, dan beda potensial antara tepi-tepi lempeng, yang dapat diukur dengan meter, sama dengan GGL Hall dalam lempeng. Ketika konduktor yang dialiri arus diletakkan di dalam suatu medan magnet, akan dihasilkan tegangan yang tegak lurus dengan arus dan medan magnet.

Material semikonduktor (Hall Element) dilewati arus. Tegangan keluaran tegak lurus dengan arah arus. Ketika tidak ada medan magnet, penyaluran arus sama besar dan tidak ada tegangan seperti pada gambar 2.4(a) Pada saat terdapat medan magnet tegak lurus terhadap bidang seperti gambar 2.4(b) gaya Lorentz mendesak arus. Gaya ini mengganggu penyebaran arus, menghasilkan tegangan pada output. Tegangan ini adalah tegangan Hall (V_H).



Gambar 2.21 Prinsip dari *Hall Effect*^[5]

2.15 Transformator (Trafo)

Umum

Transformator merupakan suatu alat untuk memindahkan daya listrik arus bolak – balik dari suatu rangkain ke rangkaian lainnya secara induksi magnetik. Dalam sistem tenaga listrik, trafo digunakan untuk memindahkan energy dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya tanpa menubah frekuensinya. Biasanya dapat menaikkan atau menurunkan tegangan maupun arus, sehingga memungkinkan transmisi ekstra tinggi.

Konstruksi

Konstruksi trafo secara umum terdiri dari:

- a) Inti yang terbuat dari lembaran-lembaran plat besi lunak atau baja silikon yang diklem jadi satu.
- b) Belitan dibuat dari tembaga yang cara membelitkannya pada inti dapat konsentris maupun spiral.
- c) Sistem pendinginan pada trafo-trafo dengan daya yang cukup besar.^[7]



Gambar 2.22 Bentuk fisik Trafo^[6]

2.16 Prinsip Kerja Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah dan menyalurkan energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Transformator di gunakan secara luas baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya, kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya jarak jauh.

Transformator terdiri atas dua buah kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi (*reluctance*) rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer maka di kumparan primer terjadi induksi sendiri (*self induction*) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, maka mengalirlah arus sekunder jika rangkaian sekunder di bebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetisasi).

$$e = -N \frac{d\phi}{dt}$$

Dimana :

$$e = \text{gaya gerak listrik (ggl) [volt]}$$

$$N = \text{jumlah lilitan}$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \text{perubahan fluks magnet}^{[8]}$$

2.17 Kapasitor

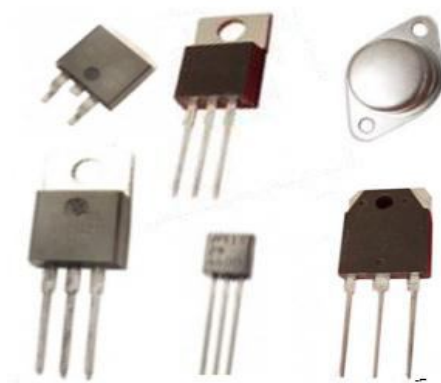
Kapasitor adalah komponen elektronika yang mempunyai kemampuan menyimpan elektron-elektron selama waktu yang tertentu atau komponen elektronika yang digunakan untuk menyimpan muatan listrik yang terdiri dari dua konduktor dan di pisahkan oleh bahan penyekat (bahan dielektrik) tiap konduktor di sebut keping. Seperti juga halnya resistor, kapasitor adalah termasuk

salah satu komponen pasif yang banyak digunakan dalam membuat rangkaian elektronika. Kapasitor berbeda dengan akumulator dalam menyimpan muatan listrik terutama tidak terjadi perubahan kimia pada bahan kapasitor.

Pengertian lain Kapasitor adalah komponen elektronika yang dapat menyimpan dan melepaskan muatan listrik. Kapasitor atau yang sering disebut kondensator merupakan komponen listrik yang dibuat sedemikian rupa sehingga mampu menyimpan muatan listrik. Prinsip sebuah kapasitor pada umumnya sama halnya dengan resistor yang juga termasuk dalam kelompok komponen pasif, yaitu jenis komponen yang bekerja tanpa memerlukan arus panjar. Kapasitor terdiri atas dua konduktor (lempeng logam) yang dipisahkan oleh bahan penyekat (isolator). Isolator penyekat ini sering disebut sebagai bahan (zat) dielektrik. Zat dielektrik yang digunakan untuk menyekat kedua penghantar komponen tersebut dapat digunakan untuk membedakan jenis kapasitor. Beberapa pengertian kapasitor yang menggunakan bahan dielektrik antara lain berupa kertas, mika, plastik cairan dan lain sebagainya. Jika kedua ujung plat metal diberi tegangan listrik, maka muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu kaki (elektroda) metalnya dan pada saat yang sama muatan-muatan negatif terkumpul pada ujung metal yang satu lagi. Muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung kutub negatif dan sebaliknya muatan negatif tidak bisa menuju ke ujung kutub positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif. Muatan elektrik ini “tersimpan” selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya. Kemampuan untuk menyimpan muatan listrik pada kapasitor disebut dengan kapasitansi atau kapasitas.^[9]

2.18 Transistor

Transistor adalah alat semikonduktor yang dipakai sebagai penguat, sebagai sirkuit pemutus dan penyambung (*switching*), stabilisasi tegangan, modulasi sinyal atau sebagai fungsi lainnya. Transistor dapat berfungsi semacam kran listrik, dimana berdasarkan arus *inputnya* (BJT) atau tegangan *inputnya* (FET), memungkinkan pengaliran listrik yang sangat akurat dari sirkuit sumber listriknya.



Gambar 2.23 Bentuk fisik Transistor^[10]

Pada umumnya, transistor memiliki 3 terminal, yaitu Basis (B), *Emitor* (E) dan *Kolektor* (C). Tegangan yang disatu terminal misalnya *Emitor* dapat dipakai untuk mengatur arus dan tegangan yang lebih besar daripada arus *input* Basis, yaitu pada keluaran tegangan dan arus *output Kolektor*.

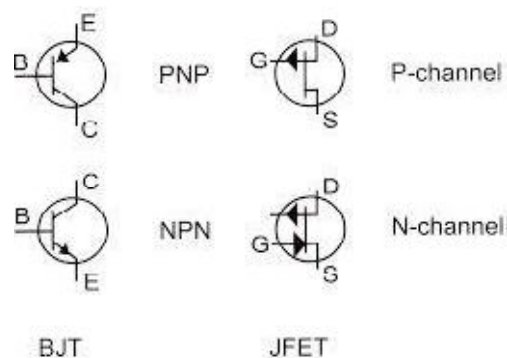
Transistor merupakan komponen yang sangat penting dalam dunia elektronik *Modern*. Dalam rangkaian analog, transistor digunakan dalam amplifier (penguat). Rangkaian analog melingkupi pengeras suara, sumber listrik stabil (stabilisator) dan penguat sinyal radio. Dalam rangkaianrangkaian digital, transistor digunakan sebagai saklar berkecepatan tinggi. Beberapa transistor juga

dapat dirangkai sedemikian rupa sehingga berfungsi sebagai *logic gate*, memori dan fungsi rangkaian-rangkaian lainnya.

Dari banyak tipe-tipe transistor *Modern*, pada awalnya ada dua tipe dasar transistor, *Bipolar Junction Transistor* (BJT atau transistor bipolar) dan *Field-Effect Transistor* (FET), yang masing-masing bekerja secara berbeda. Transistor bipolar dinamakan demikian karena kanal konduksi utamanya menggunakan dua polaritas pembawa muatan: elektron dan lubang, untuk membawa arus listrik. Dalam BJT, arus listrik utama harus melewati satu daerah/lapisan pembatas dinamakan *depletion zone*, dan ketebalan lapisan ini dapat diatur dengan kecepatan tinggi dengan tujuan untuk mengatur aliran arus utama tersebut.

FET (juga dinamakan transistor unipolar) hanya menggunakan satu jenis pembawa muatan (elektron atau *Hole*, tergantung dari tipe FET). Dalam FET, arus listrik utama mengalir dalam satu kanal konduksi sempit dengan *depletion zone* di kedua sisinya (dibandingkan dengan transistor bipolar dimana daerah Basis memotong arah arus listrik utama). Dan ketebalan dari daerah perbatasan ini dapat diubah dengan perubahan tegangan yang diberikan, untuk mengubah ketebalan kanal konduksi tersebut.^[10]

2.18 Jenis Transistor



Gambar 2.24 Simbol Transistor^[10]

Secara umum, transistor dapat dibeda-bedakan berdasarkan banyak kategori:

- a) Materi semikonduktor: Germanium, Silikon, Gallium Arsenide
- b) Kemasan fisik: *Through Hole Metal*, *Through Hole Plastic*, *Surface Mount*, IC, dan lain-lain
- c) Tipe: UJT, BJT, JFET, IGFET (MOSFET), IGBT, HBT, MISFET, VMOSFET, MESFET, HEMT, SCR serta pengembangan dari transistor yaitu IC (*Integrated Circuit*) dan lain-lain.
 - a) Polaritas: NPN atau *N-channel*, PNP atau *P-channel*
 - b) Maximum kapasitas daya: *Low Power*, *Medium Power*, *High Power*
 - c) Maximum frekwensi kerja: *Low*, *Medium*, atau *High Frequency*, RF transistor, *Microwave*, dan lain-lain.

2.19 BJT

BJT (*Bipolar Junction Transistor*) adalah salah satu dari dua jenis transistor. Cara kerja BJT dapat dibayangkan sebagai dua dioda yang terminal positif atau negatifnya berdempet, sehingga ada tiga terminal. Ketiga terminal tersebut adalah emiter (E), *kolektor* (C), dan basis (B). Perubahan arus listrik dalam jumlah kecil pada terminal basis dapat menghasilkan perubahan arus listrik dalam jumlah besar pada terminal *kolektor*. Prinsip inilah yang mendasari penggunaan transistor sebagai penguat elektronik. Rasio antara arus pada kolektor dengan arus pada basis biasanya dilambangkan dengan β atau h_{FE} . β biasanya berkisar sekitar 100 untuk transistor-transistor BJT.^[10]

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian dan perancangan tugas akhir ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Elektrik Teknik Elektro Universitas Lampung mulai dilaksanakan pada bulan oktober 2014 dan direncanakan selesai pada bulan juli 2015.

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Komponen (bahan) yang terdiri dari:
 - a. Resistor
 - b. Kapasitor
 - c. Sensor suhu
 - d. Dioda
 - e. *Relay* 5 volt
 - f. Arduino
 - g. Kontaktor magnet
 - h. Kabel penghubung
 - i. Sensor arus ACS712

2. Perangkat kerja, yang terdiri dari:
 - a. Motor induksi 3 fasa, 1 kw
 - b. Komputer pribadi
 - c. Papan projek (*Project Board*)
 - d. Bor PCB
 - e. Solder dan siongak
 - f. Penitik PCB
 - g. Kabel penghubung

3. Bahan-bahan, yang terdiri dari:
 - a. PCB
 - b. Timah
 - c. acrylic

3.3 Metode penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan membuat suatu rangkaian menggunakan mikrokontroler. Rangkaian ini digunakan untuk mengontrol komponen motor induksi tiga fasa. Adapun komponen yang dikontrol adalah arus hubung singkat dan ketidak seimbangan tegangan pada motor induksi tiga fasa. Sensor arus digunakan sebagai pendeteksi arus gangguan pada masing-masing fasa R, S dan T sehingga apabila arus yang mengalir di masing-masing fasa melebihi arus nominal dari motor listrik, maka pada mikrokontroler akan memberikan intruksi untuk mengamankan motor listrik agar tidak terjadi kerusakan akibat arus lebih yang diakibatkan gangguan external atau gangguan internal. Kelebihan dari mikrokontroler yaitu Mikrokontroler tersusun dalam satu chip dimana prosesor, memori, dan I/O terintegrasi menjadi satu kesatuan kontrol sistem sehingga mikrokontroler dapat dikatakan sebagai komputer mini yang

dapat bekerja secara inovatif sesuai dengan kebutuhan sistem. Kekurangan dari mikrokontroller yaitu tidak tahan terhadap guncangan, sangat berpengaruh terhadap medan *elektromagnetic*.

3.4 Prosedur Kerja

Dalam penyelesaian tugas akhir ini ada beberapa langkah kerja yang dilakukan diantaranya :

1. Studi literatur.

Dalam studi literatur dilakukan pencarian informasi mengenai segala sesuatu yang berkaitan dengan penelitian ini, diantaranya adalah:

- a. Karakteristik kontaktor magnet dan *relay*
- b. Karakteristik komponen-komponen yang akan digunakan serta prinsip kerjanya.
- c. Cara kerja dan pemrograman mikrokontroller

1. Perancangan Alat

Tahap perancangan alat adalah tahap mulai dari pembuatan catu daya, pembuatan aktuator rangkaian sensor suhu, sensor arus untuk pengukuran pada motor induksi 3 fasa, pemrograman mikrokontroler.

2. Pengujian

Aktivitas yang dilakukan dalam tahap pengujian adalah melakukan pengujian alat yang telah selesai dirancang. Dalam tahap ini kita dapat melihat apakah alat sudah berjalan dengan baik dan telah sesuai dengan referensi yang digunakan. Dalam tahap pengujian ini juga akan dilakukan

pengambilan data-data yang akan digunakan dalam analisa hasil pengujian.

A. Tahap pengujian yan dilakukan adalah sebagai berikut,

1. Pengujian Catu daya

Pengujian pada tahap ini adalah pengukuran untuk melihat output tegangan dari rangkaian catu daya hal ini bertujuan apakah hasil pengukuran sesuai dengan out put tegangan yang diinginkan yaitu 9 – 12 VDC.

2. Pengujian Aktuator

Pengujian pada tahap ini adalah pengujian apakah rangkaian aktuator dapat bekerja sesuai perancangan yaitu rancangan aktuator dapat menjadi pemutus sumber tegangan motor induksi 3 fasa ketika sensor arus mendeteksi adanya ke tidak seimbangan beban.

3. Pengujian mikrokontroler

Pengujian mikrokontroler dilakukan dengan melihat PORT A sebagai input sensor suhu dan arus serta PORT C sebagai pemicu rangkaian aktuator.

4. Pengujian Rangkaian Sensor Suhu.

Pengujian pada sensor suhu yaitu pengujian yang bertujuan apakah sensor suhu yang dipakai pada rancangan alat ini dapat dijadikan sebagai sensor yang dapat mendeteksi perubahan suhu pada motor induksi.

5. Pengujian Sensor Arus

Pengujian perangkat ini dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran ACS712. Dan melihat apakah sensor arus dapat mendeteksi perubahan ke tidak seimbangan arus pada motor induksi.

6. Pengujian keseluruhan

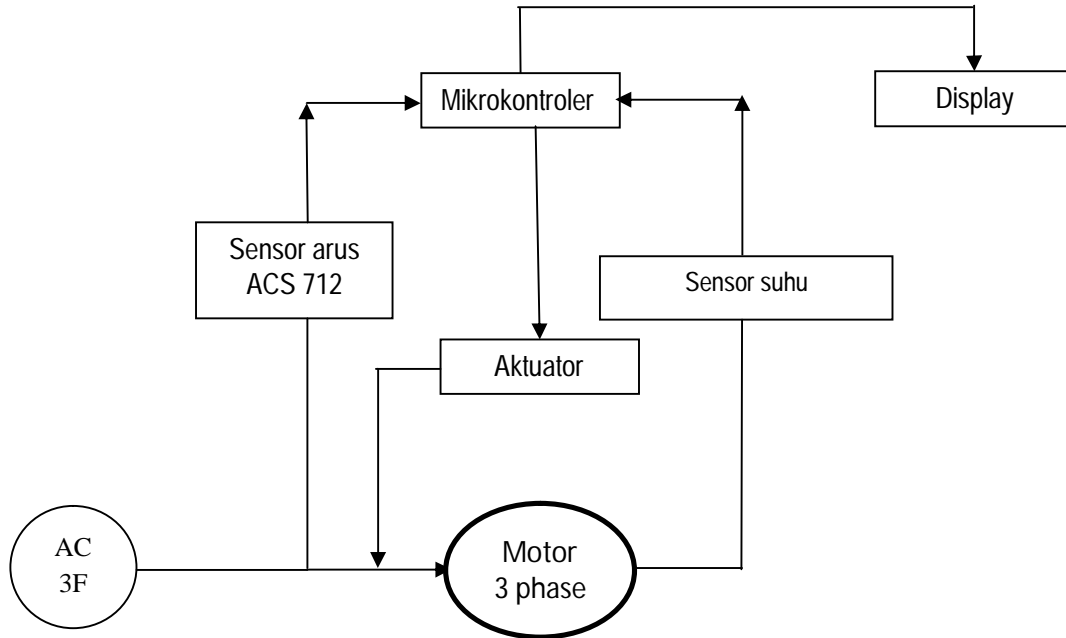
Pengujian pada tahap akhir adalah pengujian secara menyeluruh. Pengujian ini dilakukan untuk melihat hasil dari ke tidak seimbangan beban, perubahan suhu pada motor induksi dan pengaruhnya terhadap rangkain aktuator.

3. Analisa data hasil pengujian

Setelah pengujian dan pengambilan data telah dilakukan, tahap yang selanjutnya adalah analisa hasil pengujian. Data-data yang telah didapat ini akan dianalisa dan dibandingkan dengan teori yang ada. Dan pada akhirnya dapat diambil kesimpulan akhir penelitian.

3.5 Penentuan spesifikasi rancangan.

Blok diagram pada penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut



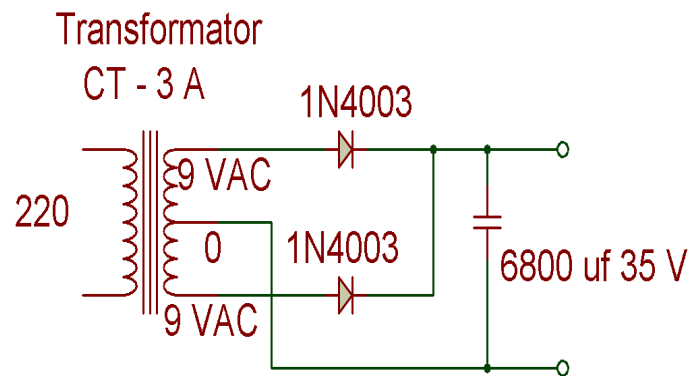
Gambar 3.1. Blok diagram pengendali proteksi motor induksi 3 fasa.

3.6 Perancangan perangkat keras.

Berdasarkan blok diagram diatas adapun peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. *Power supply*

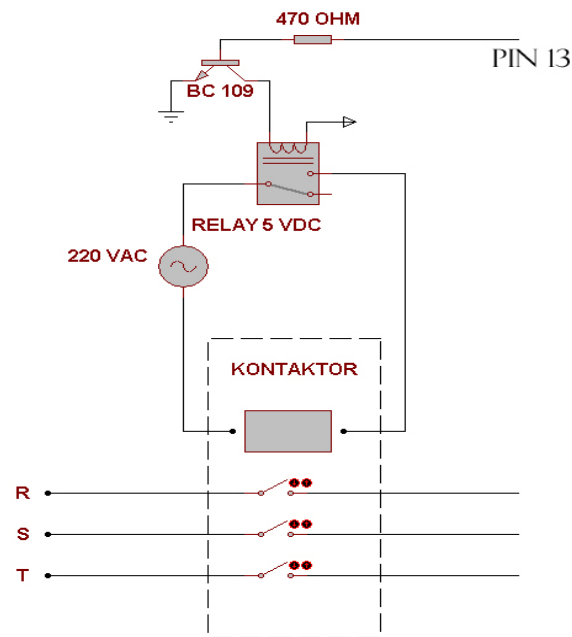
Power supply merupakan perangkat yang terdiri dari beberapa komponen elektronika, secara fungsi *power supply* digunakan sebagai pengubah tegangan ac yang dihasilkan oleh transformator menjadi tegangan DC. Tegangan DC yang dihasilkan oleh *power supply* akan digunakan untuk sumber tegangan pada mikrokontroler maupun peralatatan yang lainnya.



Gambar 3.2. Rangkaian *power supply*

2. Rangkaian Aktuator

Aktuator merupakan rangkaian yang berfungsi untuk mengeksekusi perintah dari mikrokontroller, pada rangkaian ini juga berfungsi sebagai rangkaian pemisah antara sumber tegangan DC dengan sumber tegangan AC.

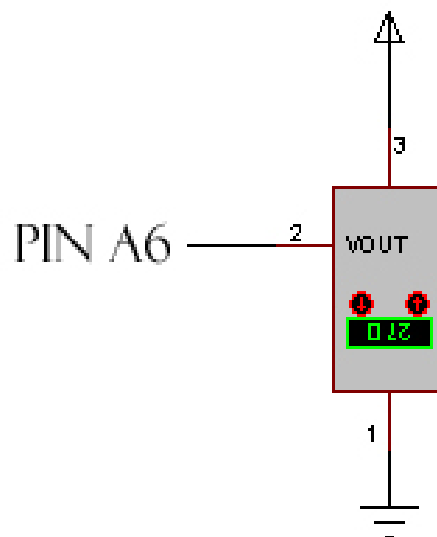


Gambar 3.3. Rangkaian Aktuator

3. Rangkaian Sensor Suhu

Sensor suhu LM35 berfungsi untuk mengubah besaran fisis yang berupa suhu menjadi besaran elektris tegangan. Sensor ini memiliki parameter bahwa setiap kenaikan 1°C tegangan keluarannya naik sebesar 10mV dengan batas maksimal keluaran sensor adalah $1,5\text{ V}$ pada suhu 150°C . Pada perancangan alat akan ditentukan keluaran adc mencapai full scale pada saat suhu 100°C , sehingga saat suhu 100°C tegangan keluaran transduser ($10\text{mV}/^{\circ}\text{C} \times 100^{\circ}\text{C}$) = 1V . Tegangan dari IC LM35 akan diproses dengan menggunakan rangkaian pengkondisi sinyal agar sesuai dengan tahapan masukan ADC. Sensor LM35 memiliki tegangan kerja 5 Volt namun outputnya hanya antara 0.01 Volt sampai 1.00 Volt range

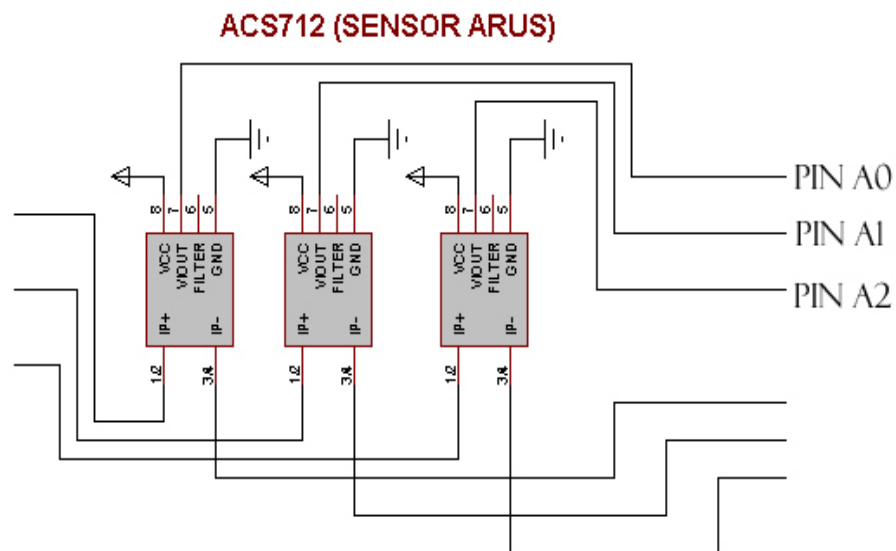
pengukuran IC LM35 hanya berkisar antara 0 – 100°C dengan perubahan sebesar 10mV/1°C. Dengan ketelitian yang dimiliki maka sensor tersebut dapat diterapkan langsung dengan Mikrokontroler AVR ATmega8535 yang memiliki ADC internal 10 bit, sehingga output dari LM35 dapat langsung di koneksikan ke ADC internal Mikrokontroler AVR ATmega8535. sensor ini dijadikan acuan oleh mikrokontroler sebagai perintah untuk membuat *Pin output* berlogika *high* atau *low*, sensor ini dipasang pada *Pin ADC(Analog Digital Converter)* mikrokontroler. ketika sensor suhu mendeteksi adanya perubahan suhu pada motor induksi maka sensor suhu akan mengubah perubahan suhu tersebut menjadi bentuk perubahan sinyal tegangan kemudian perubahan sinyal tegangan yang dikirim oleh sensor suhu akan diproses oleh mikrokontroler sebagai perintah.



Gambar 3.4 Rangkaian Sensor Suhu

4. Rangkaian Sensor Arus

Sensor arus AC yakni menggunakan sensor *hall effect* yang dapat mengukur medan magnet disekitar kawat berarus. Sensor arus yang digunakan adalah ACS712. Sensor ini dapat mengukur arus hingga 30 Ampere. Sensor arus digunakan sebagai pendeteksi arus gangguan pada masing-masing fasa R, S dan T sehingga apabila arus yang mengalir di masing-masing fasa melebihi arus nominal dari motor listrik, maka pada mikrokontroller akan memberikan intruksi untuk mengamankan motor listrik agar tidak terjadi kerusakan akibat arus lebih yang diakibatkan gangguan external atau pun gangguan internal. Rangkaian sensor arus memerlukan tegangan input sebesar 5 VDC.



Gambar 3.5 Rangkaian Sensor Arus

5. Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi 3 fasa yang digunakan dalam melakukan pengambilan data yaitu motor induksi dengan kapasitas daya yang kecil, hal ini dilakukan ketidak tersedianya motor induksi dengan kapasitas besar di laboratorium. Pengujian dilakukan sebagai pembuktian dari teori yang digunakan dan perancangan alat yang dibuat, sehingga dapat diambil data yang dapat dilakukan analisa dan penyelesain setiap gangguan pada motor listrik.

6. Perancangan perangkat lunak.

Perancangan perangkat lunak digunakan untuk menjalankan mikrokontroller agar dapat berfungsi sebagaimana mestinya mikrokontroller sebagai pengendali pada alat tersebut, penulisan perintah ini menggunakan bahasa pemrograman C dengan menggunakan *software IDE Arduino* Perangkat lunak yang direncanakan untuk mikrokontroller mempunyai fungsi sebagai berikut :

1. Sebagai pemberipintah pada LCD, yang digunakan sebagai indicator ketika peralatan bekerja.
2. Menerima input dari sensor arus dan sensor suhu
3. Menghasilkan keluaran yang digunakan sebagai pemicu aktuator sehingga beroperasi (on/off).

7. Pembuatan alat.

Langkah selanjutya setelah perancangan pembuatan alat berdasarkan sketsa awal yang telah dibuat tersebut. Adapun beberapa proses yang dilakukan dalam pembuatan alat ini adalah sebagai berikut:

- a. Menuliskan algoritma program ke mikrokontroller.
- b. Menggambar rangkaian elektronik menggunakan komputer dengan bantuan program aplikasi diptrace.
- c. Memplot hasil gambar rangkaian pada PCB.
- d. Melakukan pelarutan pada PCB dengan larutan ferokorit.
- e. Melakukan pengeboran pada PCB.
- f. Melakukan pemasangan komponen pada PCB.
- g. Mendesain tata letak masing-masing bagian (block) pada alat yang selesai dibuat.

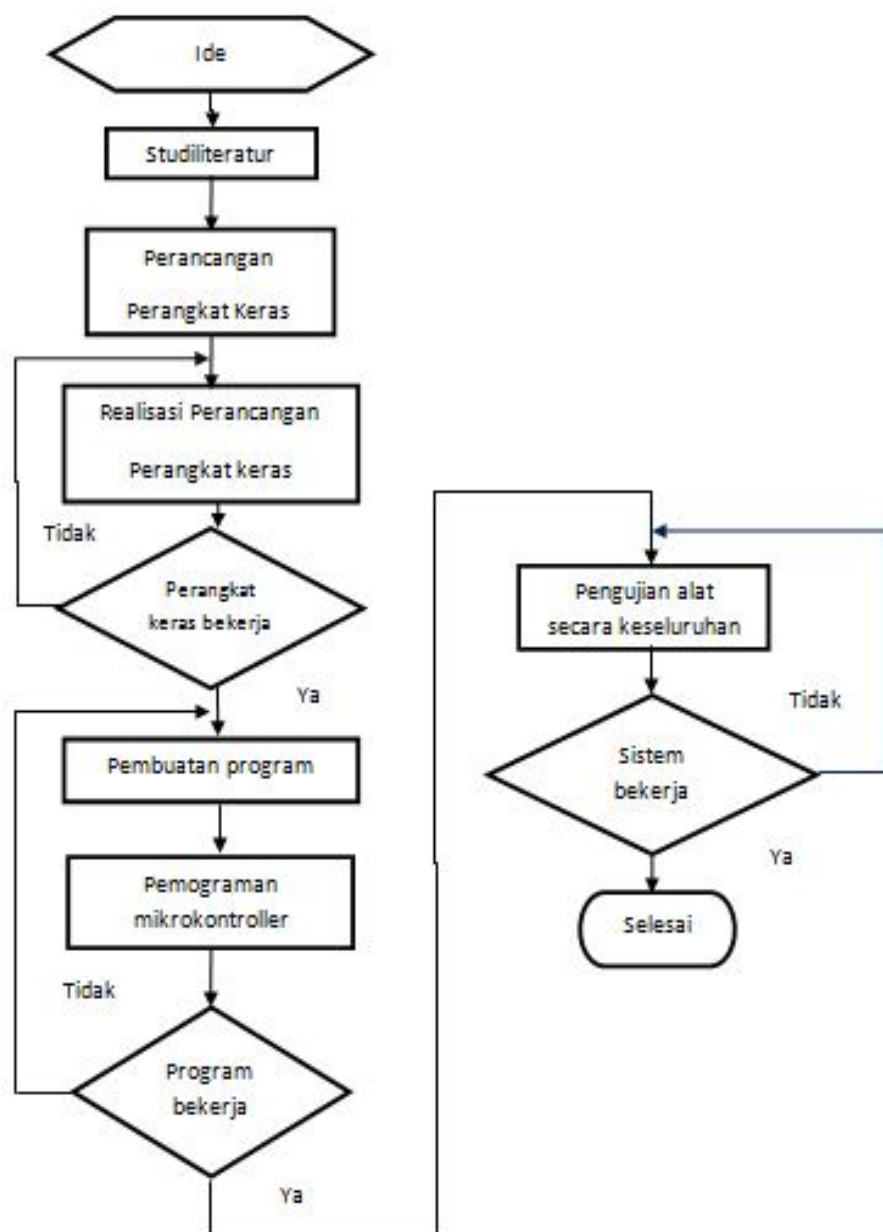
8. Pengujian alat.

Pengujian dari hasil perancangan pengamanan motor listrik dari gangguan hubung singkat dan kelebihan beban yang dilengkapi dengan pengamanan temperatur lebih, dilakukan pada masing-masing bagiannya yaitu pada rangkaian dan program. Pada pengujian perangkat keras dilakukan pengujian per-blok rangkaian. Sedangkan pada perangkat lunak yaitu dilakukan pengujian pada mikrokontroller apakah dapat bekerja dengan baik sesuai dengan program yang dibuat atau tidak yaitu dengan memberikan inputan dan melakukan pengecekan dikeluarkan dari mikrokontroller tersebut, setelah kedua hal diatas terpenuhi maka selanjutnya adalah pengujian rangkaian secara keseluruhan. Pengujian per-blok bertujuan agar kesalahan pada rangkaian dapat diketahui apakah masing-masing bagian dari rangkaian dapat berfungsi dengan baik sebagaimana mestinya. Sedangkan pengujian keseluruhan di maksudkan,

untuk mengetahui apakah hasil dari perancangan yang telah selesai pengerjaannya dapat bekerja dengan baik sesuai dengan spesifikasi, dan rancangan dari alat tersebut.

9. Diagram alir penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar



Gambar 3.6 Diagram alir pengerjaan tugas akhir

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan pengamatan dan pengujian alat secara keseluruhan maupun perbagian dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan dibuatnya alat ini didapat system proteksi motor induksi 3 fasa Yang menggunakan mikrokontroller.
2. Dapat mempermudah cara mengetahui suhu pada motor saat melebihi suhu di kapasitas motor tersebut.
3. Pada saat pengujian sensor arus dan sensor suhu diketahui bahwa arus pada jala-jala PLN tidak selalu seimbangan antara fasa, ini mempengaruhi kerja dari motor 3 fasa untuk itu perlu dibuat proteksi saat tegangan tidak seimbang.

5.2 Saran

1. Perlunya pengujian mengenai peralatan-peralatan elektronika yang digunakan sebagai peralatan pendukung dalam tugas akhir ini agar dapat diketahui tingkat keandalannya dalam jangka panjang.
2. Penggunaan sensor arus pada penelitian selanjutnya baiknya menggunakan sensor arus Clam Ampere.
3. Sebaiknya perlu dilakukan pengoptimalan fitur - fitur yang ada pada mikrokontroler untuk diaplikasikan pada motor induksi 3 fasa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] David H. Sirait: *Analisis Starting Motor Induksi Tiga Fasa Pada PT. Berlian Unggas Sakti TJ. Morawa*,2008. USU Repository© 2009 (di unduh jumat 13 desember 2013 jam 00:12).
- [2] Sujarot, *Rancang Bangun Starting Motor induksi 3 Fasa Hubung Bintang-Segitiga Dilengkapi Pengaman 3 Fasaberbasis Mikrokontroler Atmega8535*,UNILA,2012.
- [3] Andriawan Singgih. *Rancang Bangun Pengaturan Pakan Pada Model Tambak Secara Otomatis Berbasis Mikrokontroler ATMEGA32(prototipe)*” skripsi.UNILA,2013.
- [4] <http://dunia-listrik.blogspot.com/2008/11/dasar-dasar-sistem-proteksi.html> (diunduh jumat 08 mei 2015 jam 10:16)
- [5] Kurniawan ady. *Monitoring besaran listrik dari jarak jauh Pada jaringan listrik 3 fasa Berbasis single board computer bcm2835*, UNILA,2015
- [6] <http://all-elektro.blogspot.com/2012/01/transformator-trafo.html> (diunduh sabtu 02 mei 2015 jam 11:19)
- [7] Widiatmoko Catur. *Perancangan Transformator Daya Satu Fasa Core type dengan bantuan pc*. Universitas Diponegoro Semarang,(2004)
- [8] Manurung Mangiring. "Studi Pengujian Vektor Group Transformator Distribusi Tiga Fasa (Aplikasi pada PT. Morawa Electric Transbuana)." (2010).
- [9] Suarmayasa Putu. *Paper Kapasitor/Kondensator*. Universitas Pendidikan Ganesha, 2012
- [10] Darsana Putu. *Sistem Proteksi Daya Listrik Berbasis Mikrokontroler Atmega 16 Dengan Sensor Arus*. Universitas Negeri Yogyakarta. 2015
- [11] Wijaya, Mochtar,S.T.:*Dasar-Dasar Mesin Listrik.Jakarta*.Djambatan,2001. (di unduh sabtu 23 november 2013 jam 23:11).