

SKRIPSI

**STUDI SISTEM PROTEKSI MOTOR INDUKSI
DI PABRIK PT. SEMEN BOSOWA MAROS**



Oleh

**ABDUL SYUKUR
105821101016**

**ANDRIANTO SULTAN
105821104616**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2021**

STUDI SISTEM PROTEKSI MOTOR INDUKSI
DI PABRIK PT. SEMEN BOSOWA MAROS

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik

Disusun dan Diajukan Oleh

ABDUL SYUKUR
105821101016

ANDRIANTO SULTAN
105821104616

PADA

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
MAKASSAR

2021

07/05/2021

1 eq
Smb. Alumni

R/015/ELT/21cp
SYU
s?



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **STUDI SISTEM PROTEKSI MOTOR INDUKSI DI PABRIK PT. SEMEN BOSOWA MAROS**

Nama : 1. Andrianto Sultan
2. Abdul Syukur

Stambuk : 1. 105 82 11046 16
2. 105 82 11010 16

Makassar, 09 Maret 2021

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Ir. Abdul Hafid, M.T

Pembimbing II

Andi Faharuddin, S.T., M.T
NIP.132169986

Mengetahui,
Ketua Jurusan Elektro

Adriani, S.T., M.T.

NBM : 1044 202



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Andrianto Sultan** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 11046 16 dan **Abdul Syukur** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 11010 16, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0004/SK-Y/20201/091004/2021, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu, 27 Februari 2021.

Panitia Ujian :

Makassar, 09 Sya'ban 1442 H
22 Maret 2021 M

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, M.T

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng

b. Sekretaris : Adriani, S.T.,M.T

3. Anggota : 1. Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

2. Dr. Umar Katu, S.T.,M.T

3. Dr. Hj. Rossy Timur Wahyuningsih, S.T.,M.T

Mengetahui :

Pembimbing I

Ir. Abdul Hafid, M.T

Pembimbing II

Andi Faharuddin, S.T.,M.T
NIP.132169986



Ir. Hamzah Al Imran, S.T., M.T., IPM

NBM : 855 500

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. atas segala limpahan Rahmat dan Karunia-Nya. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada kekasih sang Khalik Nabiyyullah Muhammad SAW. Suatu kenikmatan yang tertuang dalam serangkaian kegiatan akedemik yakni penyusunan skripsi dengan judul “Studi Sistem Proteksi Motor Induksi di Pabrik Semen PT. Bosowa”.

Setiap orang dalam berkarya selalu mencari kesempurnaan, tetapi terkadang kesempurnaan itu terasa jauh dari jangkauan. Kesempurnaan bagaikan udara yang ingin digenggam namun tidak pernah bisa, demikian juga dengan kehendak hati yang ingin menggenggam kesempurnaan tetapi kapasitas penulis dalam keterbatasan namun, penulis akan terus berusaha agar tulisan yang penulis buat bisa menjadi bagian dari kesempurnaan dan selesai dengan baik serta bermanfaat dalam dunia teknik, khususnya dalam ruang lingkup Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Makassar.

Penyusunan skripsi ini adalah untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan akademik. Penyusunannya dapat terlaksana dengan baik berkat dukungan dan motivasi dari banyak pihak. Untuk itu, pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar.

2. Bapak Ir. Hamzah Al Imran, S.T, M.T., IPM. selaku Dekan Fakultas teknik Universitas Muhammadiyah Makassar
3. Ibu Adriani, ST, MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Makassar
4. Bapak Ir. Abdul Hafid, M.T. selaku pembimbing I beserta Bapak Andi Faharuddin, S.T.,M.T. selaku pembimbing II yang telah memberikan banyak arahan, masukan, serta motivasi dalam membimbing penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
5. Kedua orang tua yang telah memberikan nasihat, do'a, dan dukungan moril maupun materil untuk penulis menuntut ilmu, sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan.
6. Saudara-saudariku angkatan 2016 (Proyeksi) yang telah saling memotivasi dan membantu selesainya skripsi ini terkhusus pada kelas A.TL 2016 yang merupakan teman kelas seperjuangan.
7. Seluruh pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Semoga semua pihak tersebut diatas mendapat pahala yang berkipat ganda disisi Allah SWT dan skripsi yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan-rekan masyarakat serta bangsa dan Negara. Aamiin.

Akhirnya, dengan segala kerendahan hati, penulis senantiasa mengharapkan kritikan dan saran dari berbagai pihak yang sifatnya membangun karena penulis yakin bahwa suatu persoalan tidak akan berarti sama sekali tanpa adanya kritikan dan kritikan ini dijadikan sebagai bahan evaluasi untuk meningkatkan kualitas diri kedepannya dan InsyaAllah penulis akan dengan

senang hati dan berlapang dada menerima kritikan yang diberikan karena penulis mengharapkan sesuatu yang lebih baik kedepannya bagi penulis. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk semua orang khususnya bagi ranah ilmu pendidikan.

Makassar, 15 Februari 2021

Penulis

Abdul Syukur¹. Andrianto Sultan²

Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar¹

E_Mail : as8952021@gmail.com

Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar²

E_mail : andriisultan@gmail.com

ABSTRAK

Abstrak; Abdul Syukur dan Andrianto Sultan (2021) Tenaga Listrik adalah bagian penting dan menjadi salah satu modal dalam beroperasinya PT. Semen Bosowa Maros yang merupakan salah satu industri semen yang ada di kawasan timur Indonesia dan tentunya memiliki peran yang penting dalam perkembangan kawasan ini, oleh karena itu diperlukan sebuah sistem yang handal dalam penyaluran tenaga listrik, salah satu indikasi kehandalan adalah seberapa lama dan sering terjadi gangguan yang sulit untuk dihindari. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengambilan data pada peralatan sistem proteksi motor induksi di PT. Semen Bosowa Maros kemudian menghitung setelan relai SPAC 320 C yang didalamnya terdapat settingan *over Current* dan gangguan hubung singkat kemudian membandingkan dengan hasil perhitungan. Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahapan perhitungan yaitu, perhitungan arus nominal pada motor, menghitung arus sekunder pada motor, menghitung nilai trafo arus dan penyetelan relai *over current* pada motor. Dari hasil perhitungan yang dilakukan maka arus nominal pada motor sebesar 298, 21 Ampere, arus sekunder motor sebesar 3,728 Ampere dan arus yang menghitung nilai CT pada trafo sebesar 0,74 Ampere. Dari data dilapangan sesuai dengan *name plate* atau berdasarkan buku yang terdapat pada PT. Semen Bosowa Maros, bahwa motor *raw mill* dengan daya 5000 kW, tegangan 11000 Volt dan arus nominal 308 Ampere maka arus settingannya 237,16 Ampere. Sedangkan dari hasil perhitungan, motor *raw mill* dengan daya 5000 kW, tegangan 11000 Volt maka arus nominal motor 298,21 Ampere dan arus *setting* relainya yaitu 229,6 Ampere.

Kata kunci : Sistem Proteksi, Tipe Relai SPAC 320 C, *Over Current* Relai

Abdul Syukur¹. Andrianto Sultan²

*Product of Electrical Engineering ,Faculty of Engineering Unismuh Makassar*¹

E_Mail : as8952021@gmail.com

*Product of Electrical Engineering ,Faculty of Engineering Unismuh Makassar*²

E_mail : andriisultan@gmail.com

ABSTRACT

Abstract; Abdul Syukur and Andrianto Sultan (2021) Electric power is an important part and becomes one of the capital in the operation of PT. Semen Bosowa Maros, which is one of the cement industries in the eastern region of Indonesia and certainly has an important role in the development of this area, therefore a reliable system is needed in the distribution of electricity, one indication of reliability is how long and often disruption occurs. which is hard to avoid. The method used in this research is data collection on induction motor protection system equipment at PT. Semen Bosowa Maros then calculates the SPAC 320 C relay setting in which there is an over current setting and short circuit fault then compares it with the calculation results. In this research, several calculation stages were carried out, namely, the calculation of the nominal current in the motor, calculating the secondary current in the motor, calculating the value of the current transformer and setting the over current relay on the motor. From the results of the calculations made, the nominal current in the motor is 298, 21 Ampere, the motor secondary current is 3.728 Ampere and the current that calculates the CT value on the transformer is 0.74 Ampere. From the data in the field according to the name plate or based on the book contained in PT. Semen Bosowa Maros, that a raw mill motor with a power of 5000 kW, a voltage of 11000 volts and a nominal current of 308 Ampere, the setting current is 237.16 Ampere. Meanwhile, from the calculation results, the raw mill motor with a power of 5000 kW, a voltage of 11000 volts, then the nominal motor current is 298.21 Ampere and the relay setting current is 229.6 Ampere.

Keywords: Protection System, Type of Relay SPAC 320 C, Over Current Relay

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN SAMPUL

HALAMAN PERSETUJUANii

HALAMAN PENGESAHAN..... iii

KATA PENGANTAR.....iv

ABSTRAKvii

DAFTAR ISI.....ix

DAFTAR GAMBAR.....xi

DAFTAR TABELxii

LAMPIRAN..... xiii

BAB I PENDAHULUAN..... 1

A. Latar Belakang..... 1

B. Rumusan Masalah..... 3

C. Tujuan Penelitian 3

D. Batasan Masalah 4

E. Metode Pengumpulan Data..... 4

F. Manfaat Penelitian 4

G. Sistematis Penulisan..... 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6

A. Sejarah Motor Induksi..... 6

B. Pengertian Motor Induksi 7

C. Prinsip Kerja Motor Induksi..... 8

D. Tipe Motor Induksi	10
E. Jenis-Jenis Motor Induksi	12
F. Faktor-Faktor Penyebab Kerusakan Motor Induksi.....	15
G. Sistem Proteksi.....	18
H. Peralatan Proteksi.....	22
BAB III METODELOGI PENELITIAN.....	35
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	35
B. Alat dan Bahan.....	36
C. Data Penelitian.....	36
D. Langkah Penelitian.....	37
E. Metode Penulisan.....	38
F. Rumus Perhitungan Yang Digunakan Menganalisa Data.....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	40
A. Data Penelitian.....	40
B. Konfigurasi Sistem Proteksi Pada Motor <i>Raw Mill</i>	42
C. Penentuan Arus Nominal Motor Dan Setelan Relai	48
BAB V PENUTUP.....	54
A. Kesimpulan	54
B. Saran	54
DAFTAR PUSTAKA.....	56
LAMPIRAN.....	59

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Motor Induksi Ferrari (1885) dan Motor Induksi Tesla (1886).....	6
Gambar 2.2 Motor Induksi Rotor Belitan Tahapan luar	11
Gambar 2.3 Motor Induksi Rotor Belitan.....	11
Gambar 2.4 Motor Induksi Rotor Sangkar	12
Gambar 2.5 Diagram Sistem Proteksi Terhadap Gangguan	20
Gambar 2.6 Diagram Seleksi Kegagalan Belitan Stator.....	21
Gambar 2.7 Karakteristik <i>Time Ampere CLV</i>	24
Gambar 2.8 <i>Fuse Diazed</i>	25
Gambar 2.9 Relai Kelebihan Beban Thermal.....	26
Gambar 2.10 Kondisi Kerja Thermal <i>Overload Relay</i>	27
Gambar 2.11 Pengaturan Arus Thermal <i>Overload Relay</i>	27
Gambar 2.12 Bagian-Bagian MCCB	28
Gambar 2.13 <i>Current Transformar</i>	30
Gambar 2.14 <i>Resistant Temperatur Detector</i>	31
Gambar 3.1 Lokasi PT. Semen Bosowa	35
Gambar 3. 2 Digram Alur (<i>Flowchart</i>) Penelitian Tugas Akhir.....	37
Gambar 4.1 Rangkaian Dol 9 <i>Direct On Line</i>).....	40
Gambar 4.2 Diagram sistem proteksi motor <i>Raw mill</i>	41
Gambar 4.3 Diagram garis model relai SPAC 320 C	42
Gambar 4.4 Panduan terminal proteksi relai SPAC 320 C	42
Gambar 4.5 Fungsi dasar terminal proteksi SPAC320 C	44

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Operasi harian motor <i>raw mill</i> pukul 00.00-10.00	46
Tabel 4.2 Operasi harian motor <i>raw mill</i> pukul 11.00-21.00.....	47
Tabel 4.3 Operasi harian motor <i>raw mill</i> pukul 22.00-23.00.....	48
Tabel 4.4 Perbandingan data lapangan dengan data hasil perhitungan	51

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Gambar <i>Name Plate</i> Motor <i>Raw Mili</i>	60
Gambar Data Setting Relai SPAC 320 C.....	60
Gambar Data Setting Trafo 550 KVA	61
Gambar <i>Circuit Breaker</i>	61
Gambar Setelan Relai SPAC 320 C Di Lapangan.....	62
Gambar Motor <i>Raw Mill</i>	62
Gambar Waktu Operasi Motor <i>Raw Mill</i>	63
Gambar Motor Induksi Yang Berada Di PT. Semen Bosowa Maros	63
Gambar <i>Central Control Room</i> (CCR).....	64

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Notasi	Defenisi dan Keterangan
A	Ampere
CCR	Central Control Room
CT	Current Transformator
CB	Circuit Breaker
Hz	Hertz/Frekuensi
I	Arus
In	Arus Nominal
Is	Arus Setting
K	Konstanta
kV	Kilo Volt
kW	Kilo Watt
MV	Mega Volt
V	Volt
W	Watt

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Motor induksi sudah tidak asing lagi bagi masyarakat umum, saat ini energi listrik yang tersedia di Indonesia sebagian besar dikonsumsi oleh industri. Penggunaan energi dalam industri banyak diserap oleh pemakaian motor listrik. Penggunaan motor ini sebagian penggerak peralatan-peralatan industri.

Motor induksi merupakan motor yang paling banyak digunakan di industri karena bentuknya yang sederhana, konstruksi yang kokoh, dan memiliki beberapa keuntungan. Keuntungan yang dapat diperoleh dalam pengendalian motor-motor induksi tiga fase yaitu, struktur motor induksi tiga fase lebih ringan, dibandingkan dengan motor arus searah DC untuk daya yang sama, harga satuan relatif lebih murah, dan perawatan motor induksi tiga fase lebih hemat. Kontrol kecepatan motor induksi saat ini lebih mudah pada kemajuan di bidang elektronika daya. Motor induksi tiga fase lebih mudah ditemukan dipasaran dibandingkan motor lainnya.

Motor induksi adalah salah satu motor terpenting yang digunakan dalam aplikasi industri. Kondisi operasi terkadang dapat menyebabkan situasi kesalahan mesin yang berbeda. Jenis utama kesalahan eksternal yang dialami oleh motor yaitu kelebihan beban, pentahapan tunggal, tegangan suplai tidak seimbang, terkunci rotor, pembalikan fase, gangguan arde, di bawah tegangan dan tegangan berlebih.

Perlindungan motor induksi tiga fasa penting karena sebagian besar penggunaan aplikasi industri motor induksi, merupakan komponen utama peralatan komersial yang tersedia dalam proses industri. Mengontrol motor induksi sulit karena sifat nonliniernya yang kuat, efek saturasi magnetik dan ketergantungan suhu yang kuat dari parameter motor listrik. Terutama, konstanta waktu rotor motor induksi dapat berubah dalam kisaran yang luas karena suhu rotor. Faktor-faktor ini membuat pemodelan matematis sistem kendali motorik sulit. Dalam aplikasi nyata, hanya model yang disederhanakan yang digunakan. Kontrol yang umum digunakan metode adalah tegangan / frekuensi, fluks arus stator dan kontrol berorientasi medan.

Sangat diinginkan bahwa motor induksi tiga fasa bekerja dengan bebas dari semua jenis kesalahan ini. Tujuan utama pekerjaan itu adalah membuat sistem proteksi yang andal untuk tiga fase sistem motor induksi. Sistem proteksi harus melindungi sistem dari ketidak seimbangan tegangan, pentahapan tunggal, di bawah tegangan, tegangan berlebih dan perlindungan termal. Selanjutnya untuk meningkatkan teknik menjalankan motor di bawah pentahapan tunggal. Teknik pemantauan klasik untuk motor induksi umumnya disediakan oleh beberapa kombinasi mekanik dalam peralatan pemantauan listrik. Bentuk mekanis penginderaan motor juga terbatas dan kemampuan untuk mendeteksi gangguan listrik seperti stator kegagalan isolasi. Selain itu, bagian mekanis peralatan tersebut dapat menyebabkan masalah selama proses operasi dan dapat mengurangi umur dan efisiensi dari sistem.

Ade Kurniawan (2015), deteksi dini hubung singkat pada belitan arus motor pengoperasian akan mencegah kerusakan lebih lanjut pada belitan berdekatan satu sama lain, inti stator, mengurangi biaya perbaikan dan memperpanjang masa pakai motorik. Karenanya deteksi kerusakan motor induksi mendapat perhatian lebih beberapa tahun terakhir. Sirkuit pendek di belitan menyebabkan pengurangan yang setara dalam jumlah putaran pada motor. Ini menyebabkan penurunan kecepatan dan peningkatan panas di inti karena kehilangan tambahan. Peningkatan panas membuat suhu belitan stator meningkat mengakibatkan penurunan perkiraan umur isolasi belitan. Kegagalan isolasi pada belitan stator akan terjadi korsleting tambahan di belitan, peningkatan tambahan suhu, dan dengan demikian memperpendek umur isolasi lekuk.

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana konfigurasi sistem proteksi motor induksi yang digunakan pada PT. Semen Bosowa Maros ?
2. Bagaimana evaluasi sistem proteksi motor induksi yang digunakan pada PT. Semen Bosowa Maros, bila terjadi arus lebih (*Over Current*) ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Mengkonfigurasi sistem proteksi motor induksi yang digunakan pada PT. Semen Bosowa Maros
2. Agar dapat mengenal dan mengetahui cara kerja *Over Current* yang digunakan sebagai proteksi motor induksi pada PT. Semen Bosowa Maros

D. Batasan Masalah

1. Penelitian ini dibatasi hanya untuk mengetahui konfigurasi tentang sistem proteksi motor induksi pada PT. Semen Bosowa Maros
2. Penulis hanya membahas dan mengevaluasi sistem proteksi motor induksi yang terdapat pada PT. Semen Bosowa Maros untuk gangguan arus lebih (*over current*).

E. Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini dapat menambah pengetahuan bagi penulis tentang konfigurasi dan cara kerja sistem proteksi relai over current yang digunakan pada PT. Semen Bosowa Maros
2. Dapat menjadi tambahan pengetahuan bagi rekan rekan sesama yang lain dan juga bagi pembacanya.

F. Metode Pengumpulan Data

Dalam penulisan tugas akhir ini, pengumpulan data dilakukan dengan metode

1. Observasi Yaitu pengumpulan data dengan melakukan studi langsung kelapangan
2. Literatur Yaitu pengumpulan data melalui buku-buku dan jurnal sebagai referensi yang berkaitan dengan pembahasan dalam penulisan tugas akhir ini
3. Wawancara Yaitu pengumpulan data dengan cara wawancara langsung dengan beberapa nara sumber yang lebih banyak mengetahui hal yang berhubungan dengan pembahasan dalam tugas akhir ini.

G. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terbagi dalam beberapa bagian yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, alasan memilih judul, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode pengumpulan data, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memaparkan tentang teori-teori pendukung yang berkaitan dengan judul penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, diagram balok dan gambar rangkain penelitian, serta metode penelitian yang berisi langkah-langkah dalam proses melakukan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil dan analisa / pembahasan

BAB V PENUTUP

Penutup yang terdiri dari kesimpulan dan saran-saran

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang daftar referensi penulis dalam memilih teori yang relevan dengan judul penelitian.

LAMPIRAN

Bagian ini berisi tentang gambar dan dokumentasi yang didapat di lapangan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sejarah Motor Induksi

Faraday menemukan hukum induksi elektromagnetik sekitar tahun 1831 dan dirumuskan Maxwell hukum kelistrikan (atau persamaan Maxwell) sekitar tahun 1860. Pengetahuan itu matang untuk penemuan mesin induksi yang memiliki dua ayah: Galileo Ferraris (1885) dan Nicola Tesla (1886). Mesin induksi mereka ditunjukkan pada Gambar 2.1

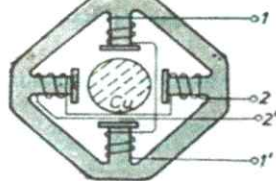


Figure 1 Ferraris's induction motor (1885)

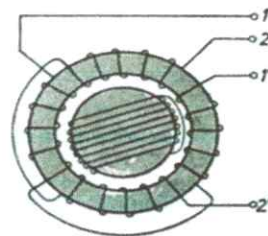


Figure 1.1 Tesla's induction motor (1886)

Gambar 2.1 Motor induksi Ferrari (1885) dan Motor induksi Tesla (1886)

Motor telah disuplai dari dua fase a.c. sumber listrik dan dengan demikian berisi dua fase lilitan kumparan terkonsentrasi 1-1 'dan 2-2' pada inti stator feromagnetik. Dalam paten Ferrari, rotor dibuat dari silinder tembaga, dalam paten Tesla, rotor tersebut terbuat dari silinder feromagnetik yang dilengkapi dengan belitan hubung pendek. Motor induksi modern memiliki topologi yang lebih rumit Gambar 1.1 dankinerja jauh lebih baik, prinsipnya pada dasarnya tetap sama. Artinya, multifase a.c. belitan stator menghasilkan medan perjalan yang menginduksi tegangan yang menghasilkan arus pada belitan rotor yang dihubungkan pendek (atau tertutup). Interaksi antara medan yang dihasilkan stator

dan arus yang diinduksi rotor menghasilkan torsi dan karenanya mengoperasikan motor induksi. Karena torsi pada kecepatan rotor nol adalah bukan nol, maka motor induksi adalah mulai sendiri. Tiga fase a.c. jaringan listrik yang mampu memberikan energi pada jarak tertentu Motor induksi dan konsumen lainnya telah dikemukakan oleh Dolivo-Dobrovolsky sekitar 1880.

Dolivo-Dobrovolsky menemukan motor induksi dengan gulungan rotor pada tahun 1889 dan selanjutnya rotor sangkar dalam topologi yang sangat mirip dengan yang digunakan saat ini. Juga menemukan rotor sangkar ganda. Artinya, sekitar tahun 1900 motor induksi sudah siap digunakan industri secara luas. Sebelum 1910, masuk Eropa, lokomotif yang dilengkapi dengan penggerak motor induksi, mampu mengirimkan 200 lokomotif km / jam. Setidaknya untuk transportasi, d.c. motor mengambil alih semua pasar sampai sekitar tahun 1985 ketika Inverter PWM IGBT disediakan untuk pengubah frekuensi yang efisien. Ini mempromosikan induksi motor yang luar biasa kembali dalam penggerak kecepatan variabel dengan aplikasi di semua industri.

B. Pengertian Motor Induksi

Pada umumnya motor listrik berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik torsi. Di dalam motor DC, energi listrik ditarik langsung dari kumparan angker melalui sikat dan komutator, oleh karena itu motor DC disebut motor konduksi. Kasus lain pada motor AC, kumparan rotor tidak menerima energi listrik langsung, tetapi dengan induksi seperti yang terjadi pada energi kumparan trafo sekunder. Karena itu motor AC dikenal sebagai motor induksi. Sebenarnya motor induksi bisa identik dengan trafo kumparan primer

sebagai kumparan stator atau angker, sementara itu kumparan sekunder sebagai kumparan rotor (M. Arfan Saputra, Syamsul Amien. 2014).

Menurut Sujoto (1984), motor induksi sering disebut tidak serentak. Disebut demikian karena jumlah putaran rotor tidak sama dengan jumlah lilitan medan magnet stator.

C. Prinsip kerja Motor induksi

Menurut Wildi (2000) ada 4 prinsip dasar yang menjelaskan bagaimana medan magnet dimanfaatkan pada mesin listrik, baik untuk trafo, generator dan motor listrik yaitu:

1. Seorang konduktor hidup akan menghasilkan medan magnet di sekitar konveyor arahnya ditentukan menurut hukum Ampere.
2. Mengubah medan magnet melawan waktu, jika melalui kawat yang berliku akan menyebabkan tegangan hidup yang berkelok-kelok. Ini sesuai dengan Hukum Faraday dan menjadi prinsip dasar transformator.
3. Seorang konduktor hidup berada di medan magnet akan mengalami suatu kekuatan. Ini dijelaskan oleh Lorentz dan menjadi prinsip dasar motor listrik.
4. Sebuah kawat berliku yang bergerak potong garis gaya magnet, akan menghasilkan gaya gerak listrik (GGL) induksi pada kawat berliku itu. Begitu juga jika berupa garis gaya magnet bergerak melintasi kawat berliku menginduksi gaya gerak listrik (g.g.l) di kawat berliku. Ini dijelaskan oleh hukum Faraday dan menjadi prinsip dasar generator listrik.

Bird (1995) menjelaskan bahwa jika belitan stator motor induksi terhubung ke Sumber tegangan 3 fase, akan dibangkitkan medan magnet putar.

Pada saat terjadi fluks magnet potong batang konduktor rotor (untuk rotor kandang) atau konduktor belitan rotor (untuk belitan rotor), sebuah ggl diinduksi pada konduktor rotor. Karena batang konduktor rotor atau terminal slip cincin terhubung pendek, itu akan mengalir arus rotor. Aliran ini disertai dengan munculnya fluks magnet di sekitar konduktor rotor, interaksi antara fluks medan magnet putar dengan fluks yang dihasilkan oleh Arus rotor akan menyebabkan gaya Lorentz. Gaya ini akan mendorong palang atau rotor berliku searah medan magnet putar. Gaya yang sama dikerjakan seluruh konduktor atau belitan rotor, yaitu menyebabkan rotor berputar ke arah medan magnet putar.

Gaya yang dihasilkan oleh batang rotor menyebabkan rotor berputar sesuai dengan arah medan magnet yang berputar. Dengan meningkatkan kecepatan putaran rotor, lalu kecepatan pemotongan fluks magnet semakin meningkat berkurang, ggl yang diinduksi rotor berkurang dan frekuensi arus rotor juga berkurang. Jika rotor berputar dengan kecepatan yang sama pada kecepatan medan magnet yang berputar, tidak pemotongan fluks magnet konduktor rotor, tidak ada ggl yang diinduksi, tidak ada pengaturan arus rotor dan tidak timbul gaya pada konduktor rotor. Yang seperti itu kecepatan putar rotor akan berkurang. Benda inilah yang menyebabkan rotor tidak pernah mencapai kecepatan yang sama seperti kecepatan medan magnet rotasi (kecepatan sinkronis). Motor induksi bekerja pada induksi elektromagnetik dari kumparan stator ke kumparan rotor. Jika sumber tegangan tiga fase dipasang pada kumparan stator, timbul bidang berputar dengan kecepatan

$$N_s = \frac{120 f}{P} \quad (1)$$

Bidang putar dari stator akan batang konduktor pada rotor, sehingga akan timbul kumparan rotor tegangan induksi atau gaya gerak listrik (ggl) penampilan dari:

$$E_r = 4,44 f_s N_s \phi_m \quad (2)$$

Karena kumparan rotor adalah sirkuit tertutup, ggl (E) akan menghasilkan arus (I). Ada saat ini (I) di dalam medan magnet menciptakan gaya (F) rotor. Saat kopling awal diproduksi oleh gaya Lorentz (F) pada rotor cukup besar untuk membawa kopling beban, rotor akan berputar arah bidang putar stator. Seperti yang sudah disebutkan bahwa tegangan induksi muncul karena batang dipotong konduktor rotor dengan medan magnet yang berputar stator. Ini berarti tegangan diinduksi oleh karena itu diperlukan kecepatan relatif antar bidang magnet rotating stator (N_s) dan kecepatan putar rotor (N_r). Dan perbedaan antara N_s dan N_r ini disebut slip (S). yang dinyatakan oleh:

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100 \% \quad (3)$$

Ketika $N_r = N_s$, tegangan tidak diinduksi dan arus tidak mengalir kumparan jangkar rotor, jadi tidak kopling yang dihasilkan. Kopling motor akan muncul saat $N_r < N_s$. Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi juga dikenal sebagai motor stroke sinkron atau asinkron.

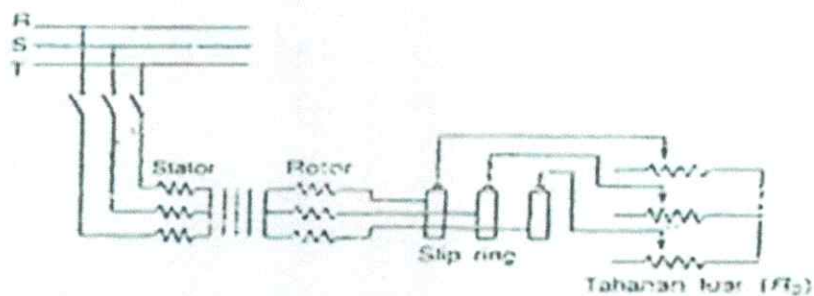
D. Tipe Motor Induksi

Motor induksi terdiri dari dua tipe yaitu :

1. Motor Induksi Rotor Belitan (*Wound Rotor*)

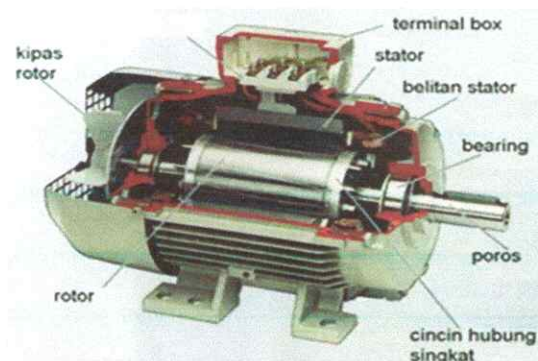
Motor induksi jenis ini memiliki rotor dengan lilitan kumparan tiga fasa yang sama dengan kumparan stator. Kumparan stator dan rotor juga memiliki

jumlah kutub yang sama. Keunggulan motor ini dibandingkan dengan tipe rotor sangkar yaitu memungkinkan adanya penambahan tahanan luar yang dapat diatur hingga harga tertentu yang dapat membuat harga kopling mulai maksimal. Resistansi luar yang dapat disetel ini dihubungkan ke rotor melalui cincin, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gamabar 2.2 Motor induksi rotor belitan yang dihubungkan dengan tahapan luar

Selain menghasilkan kopling asutan yang besar, resistansi eksternal diperlukan untuk membatasi arus asutan yang besar pada saat start dan juga untuk mengatur kecepatan motor. Gambar motor induksi jenis ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



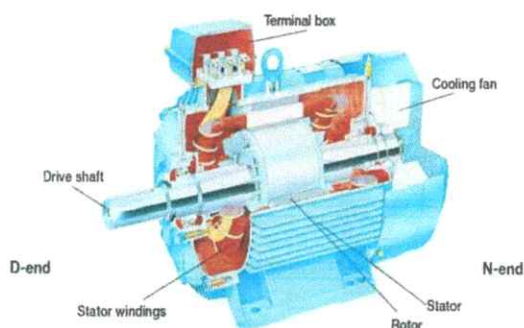
Gamabar 2.3 Motor induksi rotor belitan

2. Motor Induksi Rotor Sangkar (*Squirrel cage*)

Motor induksi jenis ini memiliki rotor dengan kumparan yang terdiri dari beberapa batang penghantar yang disusun sedemikian rupa sehingga memiliki sangkar tupai atau biasa juga disebut sangkar *squirrel*.

Konstruksi rotor ini sangat sederhana jika dibandingkan dengan rotor mesin listrik lainnya. Selain itu untuk daya (*horse power*) yang sama, motor ini memiliki ukuran yang lebih kecil dari motor listrik lainnya. Motor induksi jenis ini memiliki karakteristik pengaturan kecepatan yang baik dalam kondisi beban. Untuk membatasi besar arus awal dilakukan dengan cara menurunkan tegangan sumber dengan menggunakan starting trafo otomatis dan starting wye-delta.

Karena konstruksinya yang kuat dan pekerjaan yang andal serta perawatan yang sederhana (tidak ada belitan motor yang membuat hubung singkat, tanpa komutator, tanpa sikat), motor jenis ini banyak digunakan di industri, gambar motor jenis ini bisa dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.4 Motor induksi rotor sangkar

E. Jenis-Jenis Motor Induksi

Pada dasarnya ada dua jenis motor induksi yang bergantung pada suplai input motor induksi fase tunggal dan motor induksi tiga fase. Motor induksi satu

fasa bukan motor self-starting dan motor induksi tiga fasa adalah motor self-starting.

1. Motor induksi fasa tunggal

Motor induksi fasa tunggal tidak dapat hidup sendiri. Ketika motor dihubungkan ke catu daya satu fasa, belitan utama membawa arus bolak-balik. Masuk akal bahwa mesin sortir file yang termurah dan paling sering digunakan. Sekali lagi motor kapasitor adalah kapasitor start, kapasitor run dan motor kapasitor permanen. Pada motor jenis ini belitan awal dapat memiliki kapasitor seri dan / atau sentrifugal beralih.

Ketika tegangan suplai diterapkan, arus di belitan utama tertinggal dari tegangan suplai karena impedansi belitan utama. Dan arus di awal berliku mengarah / tertinggal dari suplai tegangan tergantung pada impedansi mekanisme start. Di antara dua belitan tersebut perbedaan fasa yang cukup untuk menghasilkan medan magnitudo yang berputar untuk menghasilkan torsi awal. Itu titik ketika motor mencapai 70% hingga 80% dari kecepatan sinkron, sakelar sentrifugal di poros motor membuka dan memutuskan belitan awal. Aplikasi Motor Induksi Fasa Tunggal Ini digunakan dalam aplikasi daya rendah dan banyak digunakan dalam aplikasi domestik juga industri. Beberapa di antaranya disebutkan di bawah ini :

- a. Pompa
- b. Kompresor
- c. Kipas kecil

Jenis Motor Induksi Fasa Tunggal:

- a. Motor induksi fase terpisah (dengan sentrifugal kapasitor memulai motor induksi)
- b. Kapasitor start kapasitor menjalankan motor induksi
- c. Motor induksi tiang berbayang

2. Motor Induksi Tiga Fase

Motor ini hidup sendiri dan tidak menggunakan kapasitor, belitan starter, sakelar sentrifugal atau perangkat start lainnya. Motor induksi AC tiga fase banyak digunakan di industri dan komersial aplikasi. Ini adalah dua jenis, sangkar tupai dan motor cincin selip. Motor sangkar tupai banyak digunakan karena konstruksinya yang kokoh dan desainnya yang sederhana. Motor cincin selip memerlukan resistor eksternal untuk memiliki torsi awal yang tinggi. Motor induksi digunakan dalam industri dan peralatan rumah tangga karena konstruksinya yang kokoh yang hampir tidak memerlukan perawatan, relatif murah, dan hanya membutuhkan pasokan ke stator.

Jenis motor induksi tiga fase terbagi atas dua, yaitu :

- a. Motor induksi sangkar tupai
- b. Motor induksi cincin selip

Umumnya motor induksi tiga fase digunakan pada :

- a. Lift
- b. Derek
- c. Kerekan
- d. Kipas buang berkapasitas besar
- e. Mengemudi mesin bubut

- f. Penghancur
- g. Pabrik ekstraksi minyak
- h. Tekstil dan lain-lain

F. Faktor-Faktor Penyebab Kerusakan Motor Induksi

Faktor atau kondisi operasi abnormal yang membahayakan dan menyebabkan kerusakan motor induksi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Mekanik kelebihan beban (*Mechanical Overload*)

Beban mekanis lainnya yang berbahaya dan menyebabkan kerusakan pada motor induksi antara lain:

- a. *Prologet Overloading*, bisa disebabkan oleh overload terus menerus atau overload yang berubah dalam waktu singkat (*cyclic overloading*).
- b. *Stalling*, yaitu kondisi dimana motor tidak dapat berputar pada saat start karena beban berlebih (beban macet dan sebagainya). *Stalling* menyerap arus / tenaga listrik yang sangat besar yang dapat menyebabkan kerusakan total pada lilitan motor akibat panas berlebih.

2. Kondisi sistem catu daya tidak normal

Kondisi sistem catu daya abnormal yang berbahaya dan menyebabkan kerusakan motor induksi antara lain:

a. Tegangan tidak seimbang

Pasokan tegangan yang tidak seimbang menyebabkan rotor memanaskan karena arus urutan negatif pada belitan stator. Tegangan yang tidak seimbang dapat dimungkinkan dengan:

- 1) putus salah satu sekering

2) sirkuit terbuka (*opened circuit*)

3) hubungan singkat di sistem

b. Urutan fase terbalik (*phasa reversal*)

Arah putaran motor induksi tergantung pada urutan fasa tegangan suplai. Pembalikan urutan fasa biasanya disebabkan oleh kesalahan dalam mengganti terminal suplai setelah perbaikan motor selesai. Urutan fasa terbalik menyebabkan motor berputar ke arah yang salah (kebalikan). Untuk motor tertentu, putaran motor terbalik akan sangat berbahaya bagi peralatan atau beban yang diputar.

c. Tegangan kurang atau lebih (*under voltage, over voltage*)

Suplai tegangan yang kurang / rendah dapat meningkatkan arus motor pada beban yang sama, sehingga motor mengalami lilitan yang lebih banyak. Sedangkan tegangan yang berlebihan dapat menyebabkan umur isolasi berkurang bahkan kekuatan isolasi akan putus.

d. Frekuensi rendah (*Under frequency*)

Penurunan frekuensi suplai menyebabkan penurunan putaran motorik yang berarti penurunan keterampilan motorik. Jika motor dipaksa untuk memutar beban yang sama, maka motor akan menanggung beban lebih banyak.

3. Gangguan pada motor itu sendiri

Gangguan pada motor itu sendiri disebabkan atau diawali oleh kelainan yang terjadi seperti pada point 1 dan point 2, diantaranya:

a. Hubungan pendek antar fasa

- b. Fase hubung singkat ke ground
 - c. Gangguan fase terbuka
 - d. Gangguan mekanis (bantalan, poros dan sebagainya)
4. Kondisi di sekitar motor
- kondisi disekitar motor faktor lingkungan yang berbahaya dan menyebabkan kerusakan motor induksi, diantaranya:
- a. Suhunya terlalu tinggi
 - b. Kurangnya udara pendingin
 - c. Getaran-getaran
5. Hubungan singkat

Peristiwa hubung singkat ini dimulai secara bertahap dan kerusakan motor dimulai dengan penurunan kekuatan isolasi belitan stator motor. Penurunan kekuatan isolasi belitan stator motor mengakibatkan hubung singkat sementara yang sangat pendek dan arus hubung singkat kecil karena impedansi isolasi masih tinggi. Hubung singkat sementara itu memiliki pola tidak teratur atau non-periodik.

Hal ini disebabkan oleh kekuatan isolasi laminasi lilitan motornya masih cukup kuat, tapi sedang menjalani proses deterosiasi. Sehingga terkadang terjadi hubung singkat hanya untuk sementara setelah itu motor kembali beroperasi normal. Insiden itu terjadi dengan frekuensi yang tidak teratur. Kemudian, pada kesempatan berikutnya, peristiwa hubung singkat menjadi semakin berkala dengan durasi arus hubung singkat yang sangat pendek dan kecil. Hubung singkat sementara dalam hal ini semakin sering terjadi berkala

dengan intensitas yang meningkat. Hal ini terjadi selama waktu non-periodik. Pemanasan, operasi terus menerus, dan lingkungan yang lembab menyebabkan deterosiasi dalam isolasi motor lebih tinggi. Sehingga menyebabkan hubung singkat sementara yang semakin berkala dengan intensitas tinggi. Setelah itu, deterosiasi belitan motor menjadi lebih buruk, menyebabkan hubung singkat menjadi permanen. Artinya, peristiwa hubung singkat tidak akan hilang dengan sendirinya. Jika tidak diperbaiki, motor akan mengalami hubung singkat berkelanjutan.

6. Beban lebih

Kelebihan beban adalah suatu keadaan dimana suatu alat listrik yang menanggung beban dengan kapasitas beban melebihi kapasitasnya. Dalam ilmu kelistrikan, istilah *overload* biasa digunakan untuk menggambarkan berbagai kondisi peralatan atau sistem kelistrikan yang digunakan yang telah melebihi batas kemampuannya, sehingga hal ini tentunya akan menimbulkan berbagai dampak atau akibat yang tidak diinginkan.

Kelebihan beban merupakan terganggunya keamanan peralatan listrik. Beban berlebih ini didasarkan pada perubahan panas akibat arus yang melebihi batas nominal. Jika terjadi kelebihan arus pada motor yang melebihi batas arus nominal maka motor akan mengalami kerusakan karena temperatur yang terlalu tinggi.

G. Sistem Proteksi

Secara umum pengertian sistem proteksi merupakan salah satu cara pencegahan atau membatasi kerusakan peralatan terhadap gangguan, sehingga

kelangsunga tenaga listrik dapat dipertahankan. Dalam sistem tenaga listrik, sistem proteksinya adalah perlindungan atau isolasi pada bagian yang memungkinkan akan ada gangguan atau bahaya. Tujuan utama perlindungan adalah untuk mencegah gangguan atau memadamkan gangguan yang telah terjadi dan melokalisirnya, dan membatasi efeknya, biasanya dengan mengisolasi bagian yang terganggu tanpa mengganggu bagian lain (Hutauruk, 1991). Sistem perlindungan ini mendeteksi kondisi abnormal pada sirkuit listrik dengan mengukur besaran listrik yang berbeda antara kondisi normal dengan kondisi tidak normal.

Ada beberapa kriteria yang harus diperhatikan pemasangan sistem proteksi di sirkuit sistem tenaga listrik yaitu:

1. Kepekaan (sensitivitas)

Sensitivitas adalah kepekaan relai proteksi terhadap segala sesuatu jenis gangguan tepatnya yaitu gangguan yang terjadi pada kawasan lindung. Sensitivitas sistem proteksi ditentukan oleh nilai terkecil dari kuantitas penggerak saat ini peralatan pelindung mulai beroperasi. Nilai terkecil dari kuantitas penggerak sesuai dengan nilai minimum arus gangguan di dalam area yang dilindungi.

2. Kecepatan

Sistem proteksi harus memiliki tingkat kecepatan yang bertekad untuk meningkatkan kualitas layanan, keselamatan manusia, peralatan dan stabilitas operasi. Mengingat bahwa sistem tenaga memiliki batasan stabilitas dan gangguan

sistem sesekali Sementara itu, relai harus bereaksi dengan cepat. kerjanya perlu diperlambat (*time delay*), seperti yang ditunjukkan persamaan :

$$t_{op} = t_p + t_{cb}$$

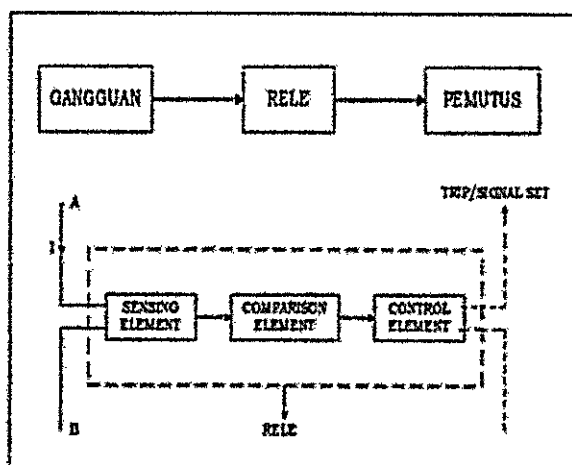
Keterangan :

t_{op} = total waktu yang dipergunakan untuk memutuskan hubungan

t_p = waktu bereaksinya unit relay

t_{cb} = waktu yang dipergunakan untuk pelepasan C.B.

Pada umumnya untuk top sekitar 0,1 detik kerja peralatan proteksi sudah dianggap bekerja cukup baik.

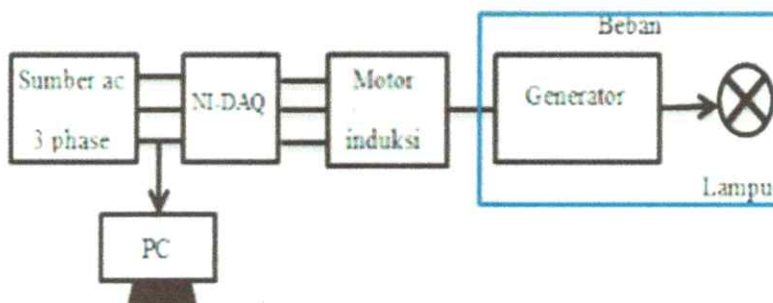


Gambar 2.5 Diagram sistem proteksi terhadap gangguan

3. Selektivitas dan diskriminasi

Selektif artinya sistem proteksi harus bisa memilih bagian dari sistem yang harus diisolasi jika relai proteksi mendeteksi gangguan. Bagian yang terpisah dari sistem sehat mungkin adalah satu-satunya bagian yang terganggu. Diskriminatif artinya sistem proteksi harus mampu membedakan antara kondisi normal dan kondisi abnormal. Atau bedakan apakah kondisi abnormal tersebut terjadi di

dalam atau di luar kawasan perlindungan. Dengan demikian, semua tindakannya akan sesuai dan konsekuensinya gangguan dapat dihilangkan seminimal mungkin.



Gambar 2.6 Diagram deteksi kegagalan isolasi pada belitan stator motor induksi

Dari diagram blok sistem di atas, yang pertama ada Sumber arus 3 fasa yang menuju ke NI-DAQ untuk di Akuisisi data kemudian tegangan input ke motor induksi yang digabungkan ke generator dan beban listrik yaitu lampu, dan kemudian data arus motor induksi yang menyala akuisisi data oleh NI-DAQ ditransfer ke komputer untuk diproses.

4. Keandalan (*reliability*)

Suatu sistem proteksi bisa dikatakan andal jika selalu berfungsi seperti yang diharapkan. Sistem proteksi disebut tidak dapat diandalkan jika gagal berfungsi saat diperlukan dan berfungsi saat perlindungan tidak seharusnya berfungsi. Keandalan relai dikatakan cukup baik jika memiliki harga 90-99%. Reliabilitas dibedakan menjadi 2 macam, yaitu:

- Ketergantungan: relai harus dapat diandalkan setiap saat.
- Keamanan: tidak melakukan pekerjaan yang salah / tidak bekerja yang seharusnya tidak berhasil.

Misalnya dalam satu tahun terjadi 25 gangguan dan relai dapat bekerja dengan sempurna 23 kali, kemudian:

$$\text{Keandalan relai} = \frac{23}{25} \times 100 \% = 92 \%$$

5. Ekonomis

Sebuah perencanaan teknik yang baik dan tentunya tidak dapat dipisahkan dari pertimbangan nilai ekonomi. Relai perlindungan yang digunakan untuk berkembang secara ekonomi mungkin dengan tidak mengesampingkan fungsi dan mengaturnya. Jenis Perlindungan Ada dua kategori yaitu perlindungan proteksi utama (*main protection*) dan proteksi tambahan (*back up protection*). Proteksi utama adalah pertahanan utama dan akan membebaskan gangguan pada bagian yang akan diproteksi secepat mungkin. Mengingat keandalan 100% tidak hanya dari proteksi tetapi juga dari trafo arus, trafo tegangan dan pemutus sirkuit yang tidak dapat dijamin, untuk itu kita membutuhkan perlindungan tambahan proteksi pada perangkat proteksi. Perlindungan pembantu bekerja ketika relai utama gagal dan tidak hanya melindungi area berikutnya dengan perlambatan waktu yang lebih lama dari rilis utama.

H. Peralatan Proteksi

1. Fuse

fuse adalah alat proteksi arus lebih yang mempunyai elemen leleh, yang jika arus lebih atau arus hubung singkat lewat maka akan memanaskan dan meleleh, sehingga dapat memisahkan / mengisolasi gangguan sistem. Fuse atau disebut juga fused patron, berfungsi sebagai pendeteksi gangguan dan sekaligus menghilangkan gangguan pada sistem. Fuse merupakan perangkat proteksi

dimana elemen pendeteksi dan pelepas (fault detection and circuit clearing) berada dalam satu peralatan yang terintegrasi. Ada 5 hal yang perlu diperhatikan tentang fuse:

- a) Fuse harus sensitif terhadap interferensi
- b) Fuse harus segera diputus
- c) Fuse juga harus peka terhadap beban normal atau beban yang tidak terlalu berbahaya, tetapi harus diputuskan bila arus beban berlebihan untuk beban arus panjang
- d) Fuse tidak mengubah atau mengubah karakteristiknya dalam suatu rangkaian pada operasi normalnya
- e) Fuse tidak diperbolehkan untuk diganti selama pengoperasian normal

a. Tipe Fuse

Secara garis besar sekering dapat dibedakan menjadi sekering pembatas arus dan sekering pembatas non arus atau biasa disebut sekering standar.

1) Sekering Pembatas Arus

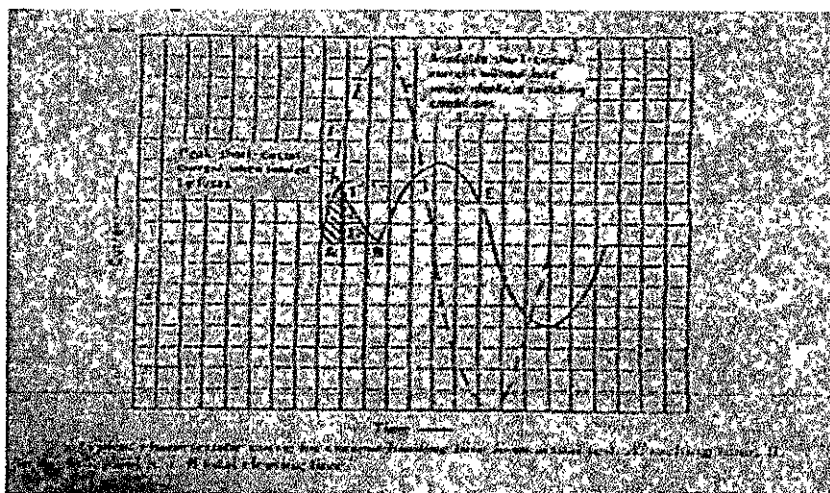
Sekring Pembatas Arus adalah sekring yang mempunyai kemampuan khusus dalam membatasi besarnya arus gangguan yang terjadi, sehingga arus gangguan tidak mencapai nilai maksimumnya. Konstruksi sekering pembatas arus memang dilengkapi dengan butiran kuarsa, yang jika terjadi busur kuarsa akan meredamnya dan mengubahnya menjadi serbuk kaca dalam waktu singkat. Dengan demikian, busur yang

timbul tidak dapat bertindak sebagai konduktor karena waktu putus dan sekering elemen sekring sangat singkat.

Jadi arus gangguan tidak mempunyai waktu untuk mencapai nilai maksimumnya, tetapi dibatasi pada nilai yang relatif kecil.

Sekring pembatas arus digunakan untuk memproteksi suatu rangkaian dimana arus gangguan yang timbul akan melebihi kapasitas / daya tahan suatu alat proteksi yang dekat dengan sumber gangguan, seperti sekering atau pemutus arus standar, juga sekering pembatas arus. bertindak sebagai pelindung terhadap energi panas yang berlebihan.

Jenis sekring ini banyak digunakan di sirkuit start motor. Berikut adalah gambaran karakteristik pembatas arus yang terjadi pada sekring pembatas arus.



Gambar 2.7 Karakteristik Time-Ampere CLF

Dari gambar karakteristik kurva di atas, dapat melihat garis putus-putus yang menunjukkan kemungkinan arus gangguan. Gambar segitiga yang ditunjukkan adalah arus hubung singkat dan lamanya waktu yang

dibutuhkan oleh *current limiting fuse* (CLF) untuk melepaskan rangkaian dari gangguan. Titik puncak segitiga mewakili arus maksimum yang diizinkan oleh CLF.

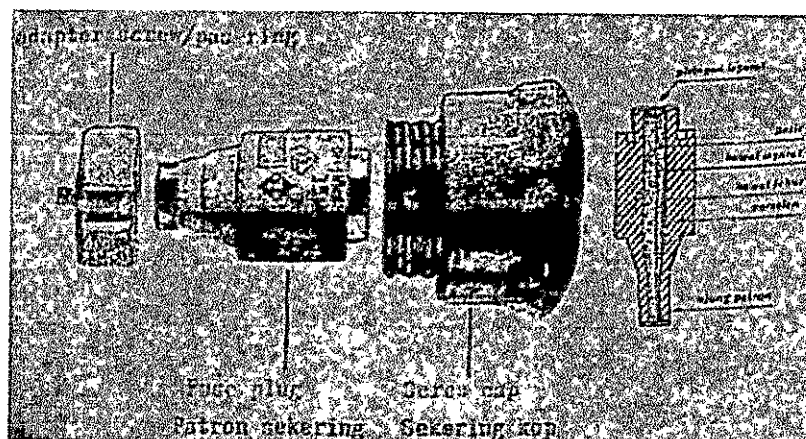
2) *Non-current limiting fuse*

Sekring jenis ini dapat memutus arus gangguan 10 kA tetapi tidak dapat membatasi jumlah arus gangguan yang mengalir pada rangkaian yang

Mengalami gangguan seperti sekering pembatas arus.

Umumnya sekring ini hanya diterapkan pada rangkaian dengan arus gangguan maksimum 10 kA dan peralatan yang diproteksi masih dalam batas cabang hambatannya. Sekring yang digunakan ini sering kali digabungkan dengan peralatan lain.

Salah satu contoh sekring pembatas arus adalah sekring diazed. *Fuse* sangat umum digunakan untuk membatasi arus hubung singkat, penggunaannya dapat dilihat dari rumah tangga hingga industri. Berikut ini adalah gambar sekring diazed:



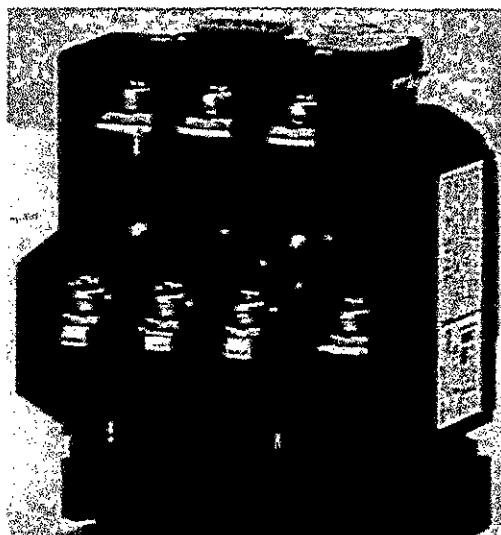
- Gambar 2.8 *fuse diazed*

Pada gambar di atas, bisa melihat jendela kaca kecil pada tudung *fuse*. Kaca tersebut berfungsi untuk mencegah nyala api yang keluar jika terjadi hubung singkat. Selain itu, diameter sekering dilengkapi dengan kabel sinyal ke piringan kecil berwarna yang berfungsi sebagai sinyal dan menekan pegas kecil. Jika kabel *fuse* putus karena arus yang terlalu besar, sinyal juga akan putus. Oleh karena itu, piring isyarat akan terlepas sehingga terlihat bahwa *fuse wire* telah putus.

2. *Thermal Overload Relay*

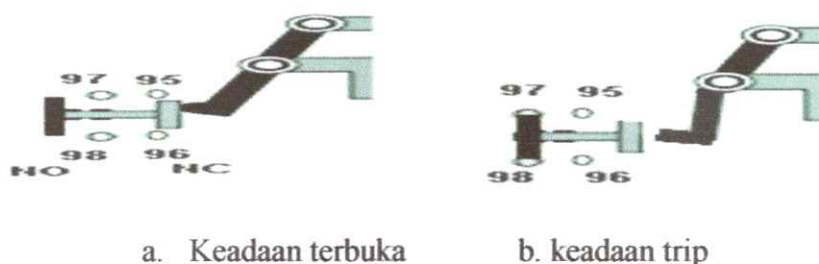
Relai adalah elektromagnet yang sederhana. Relai dapat terdiri dari koil atau solenoida, inti feromagnetik dan sebuah armatur yang bisa digerakkan adalah tempat kontak dilampirkan berfungsi sebagai penghubung dan pemutus.

Relai termal atau relai beban berlebih adalah peralatan *switching* sensitif suhu dan akan membuka atau menutup kontaktor saat ini suhu yang terjadi melebihi batas yang ditentukan atau peralatan kendali kelistrikan yang berfungsi untuk memutus jaringan listrik jika terjadi beban lebih.



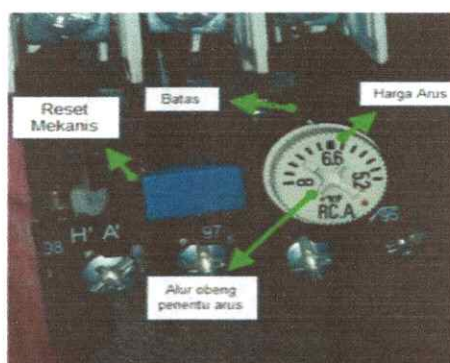
Gambar 2.9 Relai Kelebihan Beban Termal

Arus yang muncul terlalu besar, beban motor listrik akan mengalir pada belitan motor listrik yang dapat menyebabkan kerusakan dan pembakaran lilitan motor listrik. Untuk menghindarinya memasang beban termal lebih pada pengontrol. Prinsip kerja beban termal lebih berdasarkan panas (suhu) dihasilkan oleh arus yang mengalir elemen pemanas bimetalik. Dan sifatnya lentur bimetal karena panas dihasilkan, bimetalik akan menggerakkan kontak mekanis dari pemutus arus listrik (Kontak 95-96 terbuka).



Gambar 2.10 Kondisi kerja *Thermal Overload Relay*

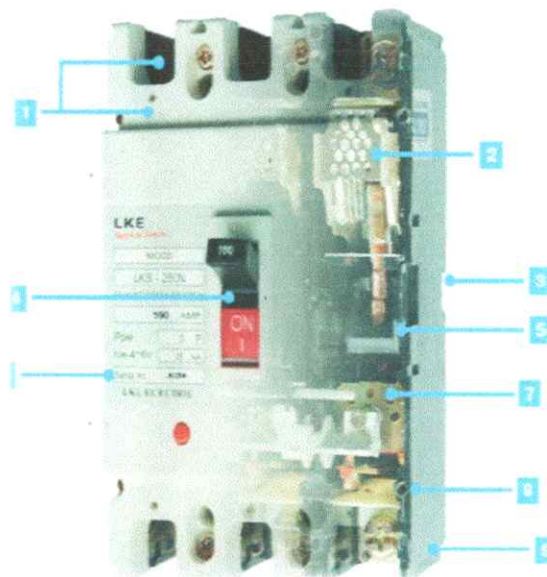
TOR bekerja berdasarkan prinsip ekspansi dan objek bimetalik. Jika benda terkena arus yang tinggi, maka benda tersebut akan mengembang sehingga akan membengkokkan dan memutus arus. Untuk mengatur arus maksimum yang bisa lolos TOR, bisa di atur dengan memutar penentu arus menggunakan obeng sampai mendapatkan harga yang diinginkan.



Gambar 2.11 Pengaturan arus *Thermal Overload Relay*

3. Molded Case Circuit Breaker (MCCB)

MCCB adalah alat pengaman tegangan media yang beroperasi secara otomatis melawan beban lebih dan hubung singkat. Dalam jenis keamanan khusus ini, memiliki kemampuan pemutusan sambungan yang dapat disesuaikan dengan yang diinginkan. Arus nominal pada peringkak MCCB harus lebih besar dari arus yang dibutuhkan oleh peralatan yang terhubung. Bagian-bagian MCCB bisa dilihat pada gambar 1.



Gambar 2.12 Bagian-bagian MCCB

Keterangan :

1. Bahan BMC untuk bodi dan cover.
2. Peredam busur api.
3. Blok sambungan untuk pemasangan ST dan UVT.
4. Penggerak lepas – sambung
5. Kontak gerak.
6. Data pabrikan.

7. Unit pemutus magnetic

8. Unit pemutus thermal

9. Compact Size

Cara menghitung kebutuhan MCCB ada pada rumus persamaan (1).

$$3 \text{ } \phi \text{ (phasa) } I = P / (\sqrt{3}) \cdot V \cdot \cos \phi \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

P : Daya (Watt)

V : Tegangan (Volt)

Cos ϕ :Faktor daya (minimal dari PLN = 0,85)

Prinsip kerja MCCB adalah keamanan thermic untuk gangguan arus lebih dan perlindungan magnet untuk gangguan hubung singkat. Pengaman termal ini menggunakan bimetal yang terdiri dari dua pelat logam terjebak bersama. Panas yang dihasilkan oleh gangguan tersebut arus berlebih akan menyebabkan bimetal ini melengkung dan dorong tuas pemutus sehingga MCCB akan trip. Namun pelindung termal ini memiliki respons yang sangat lambat versus keamanan magnetis.

Pelindung magnet ini menggunakan kumparan, saat terjadi gangguan hubung singkat maka kumparan akan diinduksi dan medan magnet muncul. Akibatnya poros berada di dekatnya akan ditarik dan menjalankan tuas pemutus. Keamanan magnet tidak butuh waktu lama untuk perjalanan. Karena pelindung magnetis bekerja secara magnetis begitu waktu yang dibutuhkan untuk induksi sangat cepat dibandingkan dengan prinsip panas. Sehingga memiliki keamanan

magnet waktu sangat singkat / tidak membutuhkan waktu tersebut lama untuk perjalanan.

4. *Current Transformer (CT)*



Gambar 2.13 Current Transformar

Trafo Arus / *Current Transformer (CT)* adalah peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik pada sisi primer (TET, TT dan TM) dengan skala besar dengan mengurangi arus secara akurat dan tepat untuk tujuan pengukuran dan perlindungan. Secara umum, trafo arus berfungsi untuk :

- a. Ubah besaran arus dalam sistem tenaga listrik dari besaran primer menjadi besaran sekunder untuk keperluan pengukuran metering dan sistem proteksi.
- b. Mengisolasi rangkaian sekunder ke rangkaian primer, sebagai pengaman terhadap manusia atau operator yang melakukan pengukuran.

5. *Resistant Temperatur Detector*

Resistance Temperature Detector adalah sebuah sensor pengukuran suhu menggunakan prinsip perubahan hambatan atau hambatan listrik logam yang

dipengaruhi oleh perubahan suhu. RTD adalah salah satu dari banyak sensor suhu digunakan dalam otomatisasi dan pengendalian proses. Gambar dibawah ini adalah contoh RTD fisik.



Gambar 2.14 Resistant *Temperatur* Detector

Dalam tipe elemen lilitan kawat atau tipe standar, RTD terbuat dari kawat tahan korosi dibungkus di atas bahan keramik atau kaca kemudian ditutup dengan probe casing pelindung. Selubung probe biasanya terbuat dari logam inconel (logam dari paduan besi, kromium, dan nikel). Inconel dipilih sebagai sampul RTD karena tahan korosi dan saat diletakkan di dalam medium cair atau gas, selubung inconel cepat di dalam di antara kabel RTD dan casing juga mengandung keramik (porselen isolator) untuk mencegah korsleting antara kawat platina dan selubung pelindung.

6. Multilin 269 Plus Relai

Multilin Model 269 Plus adalah produk berbasis komputer mikro modern yang dirancang untuk memberikan perlindungan yang lengkap dan akurat motor industri dan sistem mekanik yang terkait. Seri 269 Plus menawarkan berbagai macam perlindungan, pemantauan dan fitur diagnostik dalam satu paket

terintegrasi. Semua setpoint relai dapat diprogram di lapangan menggunakan keypad 12 posisi sederhana dan tampilan alfanumerik 48 karakter. Fungsi "HELP" dapat menginstruksikan pengguna dengan benar fungsi masing-masing tombol pemrograman dan di arti dari setiap pesan yang ditampilkan. Satu relai 269 Plus diperlukan per motor. Fase dan arus gangguan tanah dipantau melalui arus transformator sehingga motor dari setiap tegangan saluran dapat terlindung.

Relai digunakan sebagai perangkat percontohan untuk menyebabkan kontaktor atau pemutus untuk membuka dalam kondisi gangguan, tidak membawa arus motor utama. Model 269 Plus menggabungkan fitur-fitur berikut: pemilihan kurva khusus, catatan statistik motor, input sakelar kecepatan, input relai diferensial, 10 Input RTD, fitur restart darurat tembakan tunggal, dan Port komunikasi RS485, input ketidak seimbangan ke memori termal, fitur penghambat start, dan input cadangan. Fitur kurva kustom dari model 269 Plus memberi fleksibilitas tambahan pengguna. Jika salah satu dari delapan kurva beban berlebih standar tidak sesuai untuk aplikasi dalam pertimbangan, pengguna dapat memasukkan breakpoints sendiri untuk membentuk kurva kustom. Ini berarti bahwa 269 Plus dapat menawarkan perlindungan motor yang optimal dalam situasi di mana relai lain tidak bisa. Aplikasi semacam itu termasuk penggerak kipas yang diinduksi dimana motor stator dan kapasitas termal rotor dapat berbeda secara signifikan. Fitur penting dari relai GE Multilin 269 Plus, adalah kemampuannya untuk "mempelajari" parameter motorik individu. Itu relay benar-benar menyesuaikan dirinya sendiri untuk setiap aplikasi dengan

"mempelajari" nilai arus masuk motorik, faktor arus urutan negatif, kecepatan pendinginan, dan waktu percepatan.

Nilai-nilai ini dapat digunakan untuk meningkatkan Kemampuan perlindungan 269 Plus (bila diaktifkan) dan terus diperbarui. Angka 269 Plus menghitung rasio positif ke negatif urutan arus. Arus pemanas motor ekuivalen dihitung berdasarkan faktor yang "dipelajari". Ini, dikombinasikan dengan pembacaan suhu RTD oleh motor algoritma pemodelan termal, memberikan 269 Plus model termal lengkap dari motor yang dilindungi.

Dengan demikian, 269 Plus akan memungkinkan tenaga motor maksimum keluaran sambil memberikan perlindungan termal lengkap. Relai 269 Plus memberikan catatan statistik lengkap tentang motor yang dilindungi. Total jam kerja motor, total *Mega Watt Hours*, jumlah motor dimulai, dan jumlah total perjalanan estafet sejak yang terakhir.

7. Pemutus Beban

Pemutus beban digunakan untuk pemutus sirkuit yang dimaksudkan untuk digunakan dengan tegangan pengenalan lebih besar dari 600 volt. Ada beberapa macam media isolasi dari pemecah beban, antara lain: pemecah beban dengan udara magnet, *sulfur* heksafluorida (SF_6) dan udara bertekanan *vakum*.

Dalam pemecah beban udara magnetis, arus diputuskan antara kontak terpisah di udara dan bantuan kumparan *blower* magnetis. Jika kontak aliran listrik terpisah selama penghentian gangguan, percikan api ditarik keluar dalam arah *horizontal* dan *ditransfer* ke kontak percikan. Pada saat yang sama, kumparan tiup dihubungkan ke sirkuit untuk menghasilkan medan magnet untuk

menarik bunga api. Percikan api bertambah cepat dibantu oleh medan magnet dan pengaruh panas alami, kedalaman selubung bunga api yang terbentang dan terbagi menjadi segmen-segmen kecil. Resistensi bunga api meningkat sampai arus yang melalui percikan api meledak. setelah itu percikan api tidak muncul sendiri.

Pemutusan beban dengan *sulfur* heksaflorida menggunakan gas *sulfur* heksaflorida (SF₆) sebagai media isolasi dan untuk memadamkan percikan api. Ketika terjadi percikan listrik, maka gas *sulfur* heksaflorida akan berubah menjadi plasma dan memadamkan busur dan saat itu mendingin kembali menjadi gas *sulfur* heksaflorida. Mekanisme kerja pemecah beban SF₆ dioperasikan secara neumatis. Bantalan akan dikompresi yang akan memberikan energi untuk bukaan pemutus.

Pemecah beban udara bertekanan vakum mengandalkan aliran udara bertekanan yang diarahkan ke *stop* kontak pemutus untuk memotong percikan api yang terbentuk saat daya diputus.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan cara metode eksperimen semu, objek pada penelitian ini berkaitan dengan masalah sistem proteksi (motor raw mill) pada pabrik PT. Semen Bosowa Maros dengan cara mengumpulkan data primer dan data sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan cara pengambilan data secara langsung yang ada di lapangan, sedangkan pengumpulan data sekunder dilakukan dengan cara melakukan diskusi kepada karyawan yang ahli di bidang sistem proteksi (motor raw mill).

A. Waktu dan Tempat

1. Waktu : September-Desember
2. Tempat : Penelitian dilaksanakan di PT. Semen Bosowa Maros



Gambar 3.1 Lokasi PT. Semen Bosowa Maros

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Pada penelitian ini, peneliti menggunakan alat:

a). ACER Aspire 3 A314 32-C3X0 dengan spesifikasi:

Sistem Operasi	:	Windows 10 Pro
Prosesor Grafis	:	Intel® UHD Graphics
Prosesor	:	Intel® Celeron® Processor N4000
Memori RAM	:	4 GB DDR4 Memory
Memori Harddisk	:	1000 GB HDD

2. Bahan

Jurnal dan buku adalah bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagaimana terlampir pada daftar pustaka.

C. Data Penelitian

Adapun data yang digunakan dalam penelitian yaitu :

1. Gambar single line saluran listrik PT. Semen Bosowa Maros

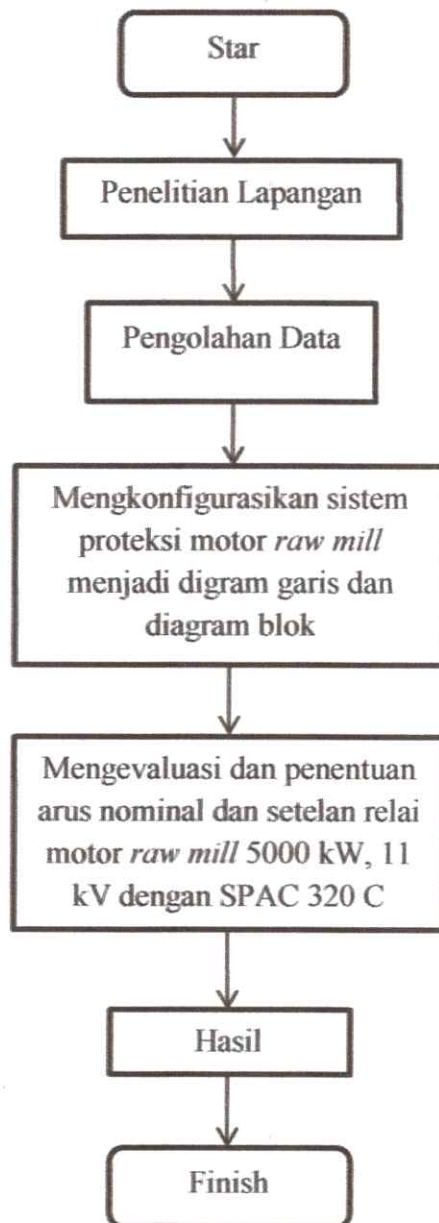
Single line ini bertujuan untuk menjelaskan sistem kelistrikan yang sederhana agar kita mudah memahami sistem listrik pada PT. semen Bosowa Maros itu sendiri.

2. Data setting relai atau penyetelan relai SPAC 320 C yang terdapat pada PT. Semen Bosowa Maros.

3. Data rasio *Current Transformer* (CT) (400/5 A), dan nilai arus serta nilai tegangan.

D. Langkah Penelitian

Pada gambar bagan alir berikut ini ditunjukkan secara garis besar tahapan-tahapan yang dilaksanakan pada penelitian ini:



Gambar 3.2 Langkah penelitian

E. Metode Penulisan

Dalam penulisan akhir ini, metode yang digunakan adalah:

1. Penelitian Pustaka (*Library Research*)

Penelitian atau pengumpulan data dengan membaca dan mempelajari berbagai literatur, tulisan dan materi perkuliahan yang penulis peroleh selama perkuliahan guna mendapatkan landasan teori terkait dengan materi yang dibahas dalam penulisan Tugas Akhir ini.

2. Penelitian Lapangan (*Field Research*)

Penelitian yang berkaitan langsung dengan objek penelitian yaitu studi tentang keselamatan motor dari berbagai gangguan sebagai penggerak utama peralatan produksi pada sistem proteksi motor induksi PT. Semen Bosowa.

a. Pengamatan Langsung (*Observasi*)

Penulisan melakukan *observasi* langsung terhadap objek yang diteliti guna mengumpulkan data

b. Wawancara (*Interview*)

Penulisan ini melakukan tanya jawab langsung untuk mendapatkan data dengan pihak-pihak yang memahami permasalahan tersebut.

F. Rumus-Rumus Perhitungan Yang Di Gunakan Dalam Menganalisa Data

1. Rumus perhitungan arus nominal pada motor

$$I_n = \frac{P}{V \times \cos \phi \sqrt{3}}$$

Keterangan :

I_n = Arus nominal

P = Daya pada motor

⋮

V = Tegangan pada motor

$\cos \phi$ = Nilai yang ditentukan pada motor

$\sqrt{3}$ = Motor tiga fasa

2. Rumus arus nominal sekunder pada motor

$$\frac{400}{5} \times \text{Arus nominal motor}$$

Keterangan :

CT = 400/5 Amper, nilai CT (*Circuit Breaker*)

I_n = Arus nominal

3. Rumus *setting over current*

$$I_s = K \times I_n$$

Keterangan :

I_s = Arus setting

K = Konstanta dari *over current relay*

I_n = Arus nominal

BAB IV

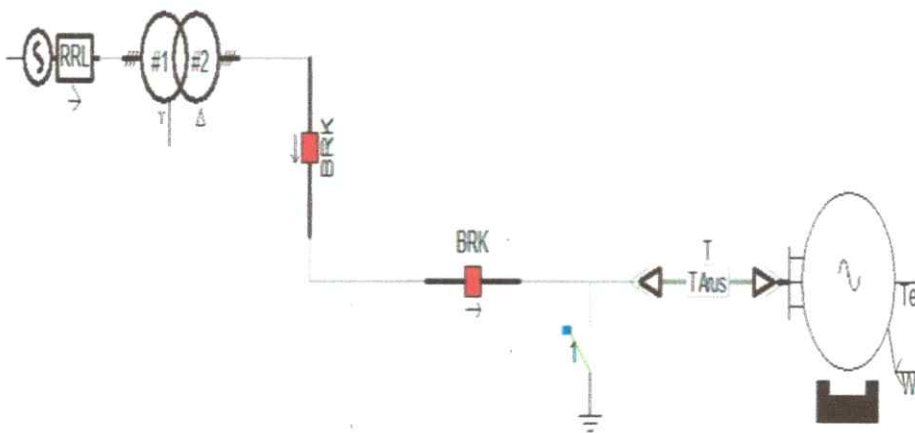
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Penelitian

1. Data karakteristik motor

Daya	=	5000 kW
Tegangan input	=	11 kV atau 11000 Volt
Arus	=	308 A
Putaran	=	994 Rpm
Arus rotor	=	1560 A
Tegangan rotor	=	1940 V
Cos ϕ	=	0,88

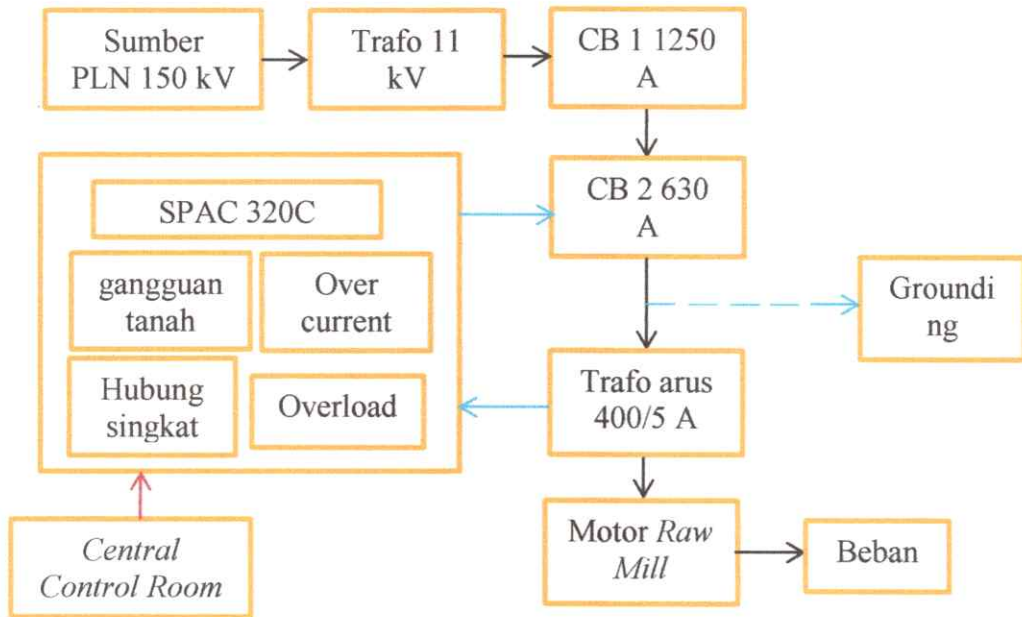
2. Rangkaian DOL (*Direct On Line*) Motor Raw Mill



Gambar 4.1 Rangkain DOL (*Direct On Line*) motor Raw Mill

B. Konfigurasi Sistem Proteksi Motor *Raw Mill*

1. Diagram blok sistem proteksi motor *raw mill*



Gambar 4.2 Diagram sistem Proteksi Motor *Raw Mill*

a. Sumber daya

Sumber daya dalam diagram balok di atas berasal dari PLN 150 KV. Kemudian tegangannya diturunkan pada trafo penurun tegangan 11 KV untuk memberikan tegangan kepada motor sehingga motor dapat beroperasi. Tegangan yang bersumber dari PLN yaitu tegangan primer.

b. Trafo

Trafo yang terdapat pada diagram balok di atas yaitu trafo penurun tegangan (*Transformator step-down*). Trafo ini berfungsi untuk menurunkan tegangan dari PLN 150 kV menjadi 11 kV dan diteruskan pada motor *raw mill*

c. CB (*Circuit Breaker*)

Fungsi dari *Circuit Breaker* (CB) pada diagram balok di atas yaitu untuk membatasi arus listrik yang mengalir melebihi batas atau kapasitas tertentu dan bisa mencegah komponen-komponen listrik dari kerusakan akibat arus lebih. *Circuit Breaker* (CB) yang digunakan pada PT. Semen Bosowa Maros yaitu tipe IEC 62271-100 dengan *Rated Voltage* 12 KV, *Rated Current* 1250 A dan *Frequency* 50-60 Hz.

d. Relai SPAC 320 C

Relai SPAC 320 C adalah sebuah alat proteksi pada motor induksi yang dapat di kontrol dari jarak jauh. Relai ini berfungsi untuk mencegah motor dari kerusakan yang di akibatkan oleh gangguan hubung singkat antara fasa, gangguan beban lebih antara fasa, gangguan antara fasa ke tanah dan gangguan arus lebih.

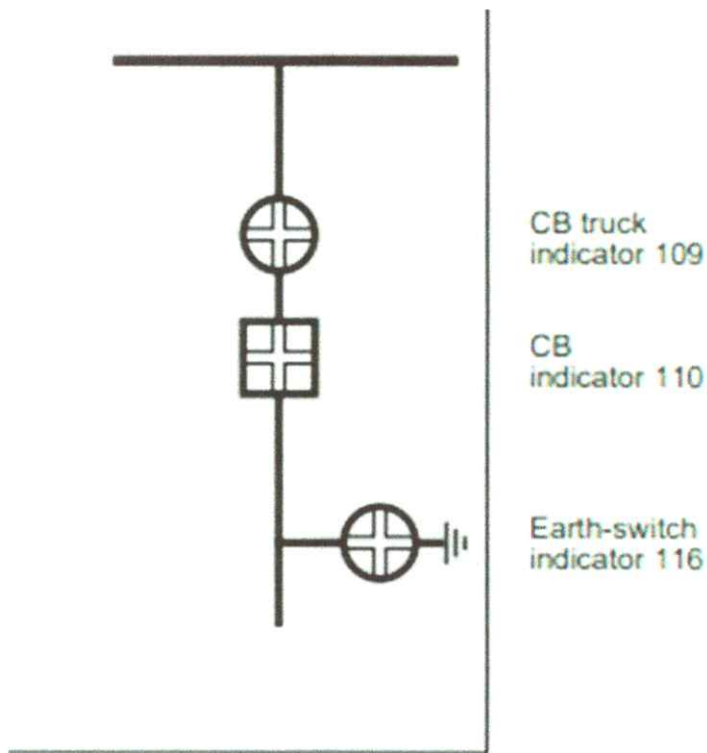
e. Motor

Motor *raw mill* adalah sebuah alat yang digunakan dalam industri yang berperan penting dalam proses pembuatan semen. Digram balok di atas yaitu berfungsi sebagai menggerakkan beban pada sebuah industri pabrik semen yang terdapat pada PT. Semen Bosowa Maros.

f. Beban

Beban ini di operasikan oleh motor *raw mill*.

2. Diagram garis model relai SPAC 320 C

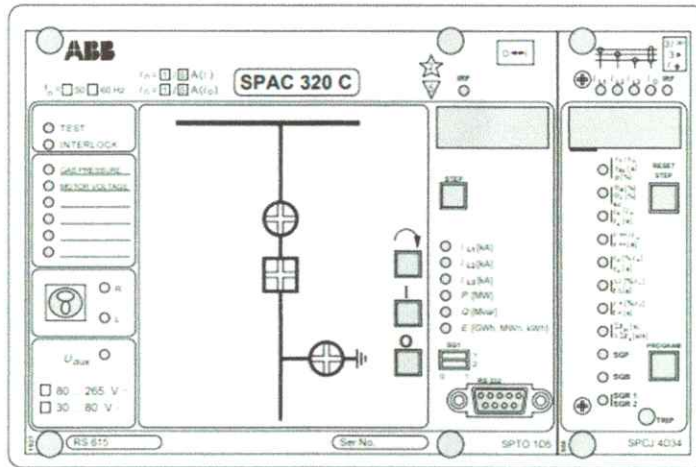


Gambar 4.3 Diagram garis model relai SPAC 320 C

Gambar diatas merupakan model pelat konfigurasi SYKK 912 Karena pelat konfigurasi yang berbeda tersedia untuk terminal pelindung motor SPAC 320 C dan jenis penunjukan konfigurasi piring harus dicantumkan dalam urutan. Ada dua pelat konfigurasi paralel untuk satu konfigurasi pemutus / pemisah; pada jenis pertama, status tertutup ditunjukkan dengan warna merah dan status terbuka dengan warna hijau, pada tipe kedua warnanya dibalik.

- LED merah berbentuk vertical dan LED hijau horizontal
- Pemutus sirkuit diilustrasikan dengan persegi
- Pemisah diilustrasikan dengan lingkaran
- Saat menunjukkan status tertutup dengan LED merah, pentanahan harus berada di sebelah kanan samping, lihat SYKK 912.

3. Manual pengguna dan deskripsi teknis SPAC 320 C



Gambar 4.4 Panduan pengguna lengkap untuk terminal proteksi motor SPAC 320 C

Panduan penggunaan lengkap untuk terminal proteksi motor SPAC 320 C terdiri dari manual parsial berikut :

- Terminal pelindung motor, deskripsi umum 1MRS 750739-MUM EN
- Modul kontrol SPTQ 1D5 1MRS 750740-MUM EN
- Karakteristik umum modul relai tipe D 1MRS 750066-MUM EN
- Modul relai pelindung motor SPCJ 4D34 1MRS 750476-MUM EN

Terminal proteksi motor lengkap untuk perlindungan motor yang dikendalikan kontaktor berukuran sedang dan pemutus sirkuit dikendalikan motor asikron. Indikasi status lokal dan jarak jauh tiga objek dan kontrol lokal atau jarak jauh dari satu objek yang dapat dikontrol. Sistem interlock level objek yang dapat dikonfigurasi pengguna untuk mencegah operasi pengalihan yang tidak diizinkan. Enam input biner yang dapat dikonfigurasi pengguna dengan lokal dan indikasi status jarak jauh. Fase arus, energi, daya aktif dan reaktif pengukuran dan indikasi. Antarmuka serial untuk remote control dan data interchange. Pengawasan diri.

a. Perlindungan

- 1) Tiga fase termal overload
- 2) perlindungan stall dengan kecepatan beralih input untuk driver dengan terbatas te-time
- 3) Pengawasan stres termal atau tiga fase tetapkan waktu perlindungan overcurrent
- 4) Tiga fase tetapkan waktu tinggi atur perlindungan overcurrent
- 5) Tetapkan waktu low-set earth-fault
- 6) Fase reversal / unbalance berdasarkan waktu inverse
- 7) Tetapkan waktu tidak lancar perlindungan

b. Pengukuran

- 1) Fase saat ini
- 2) Kekuatan aktif dan reaktif
- 3) Energi

c. Kontrol

- 1) CB, earthswitch, dan discon- status nektor
- 2) CB lokal dan kontrol jarak jauh
- 3) Tampilan mimic
- 4) Interlocking
- 5) Mengulang kembali

Tabel 4.1 Operasi harian motor *raw mill* pukul 00.00-10.00

Parameter	Unit	Limit		Time											
		MIn	Max	00.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00	07.00	08.00	09.00	10.00	
Mill Differential Press	mm H 20	500	900	421	437	437	-	-	-	-	488	480	480	420	
Mill Inlet Pressure	mm H 20	-100	-220	-96	-91	-87					-92	-90	-90	-93	
Mill Inlet Temperatur	° C	140	300	193	193	193					195	196	145	144	
Mill Exit Temperatur	° C	60	95	76	76	76					79	79	79	79	
Mill Vibration	Mm/s	6	18	14,5	12,0	12,9					15,9	14,8	13,6	15,8	
Raw Mill Power	kW	3800	5300	4057	4021	3989					3809	4068	4216	3914	
Hydraulic Pres 1 & 3	bar	43	70	54	54	54					53	53	55	55	
Hydraulic Pres 2 & 4	bar	43	70	54	54	54					53	53	55	55	
GearRed. Oil Temp.	° C	45	60	54	54	54					53	53	54	56	
Motor Bearing Temp.	° C	60	85	75	75	75					70	75	75	77	

Tabel 4.2 Operasi harian motor *raw mill* pukul 11.00-21.00

Parameter	Unit	Limit		Time											
		Min	Max	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	
Mill Differential Press	mm H 20	500	900	441	416	420	416	416	418	405	403	427	426	454	
Mill Inlet Pressure	mm H 20	-100	-220	-96	-95	-95	-85	-90	-95	-98	-91	-95	-88	-90	
Mill Inlet Temperatur	° C	140	300	194	199	200	200	200	190	188	188	190	191	190	
Mill Exit Temperatur	° C	60	95	79	80	80	79	79	76	76	76	76	76	57	
Mill Vibration	Mm/s	6	18	14,3	17,3	14,3	12,1	12,8	22,3	20,5	16,6	16,2	18,6	20,4	
Raw Mill Power	kW	3800	5300	4235	3772	3902	4028	4168	3923	4065	3859	3921	4108	4082	
Hydraulic Pres 1 & 3	bar	43	70	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	
Hydraulic Pres 2 & 4	bar	43	70	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	
GearRed. Oil Temp.	° C	45	60	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	56	
Motor Bearing Temp.	° C	60	85	77	77	77	77	77	87	76	76	75	75	75	

Tabel 4.3 Operasi harian motor raw mill pukul 22.00-23.00

Parameter	Unit	Limit		Time	
		Min	Max	22.00	23.00
Mill Differential Press	mmH 20	500	900	440	445
Mill Inlet Pressure	mmH 20	-100	-220	-92	-89
Mill Inlet Temperatur	° C	140	300	199	198
Mill Exit Temperatur	° C	60	95	75	75
Mill Vibration	Mm/s	6	18	17,8	14,3
Raw Mill Power	kW	3800	5300	4055	4126
Hydraulic Pres 1 & 3	Bar	43	70	55	55
Hydraulic Pres 2 & 4	Bar	43	70	55	55
GearRed. Oil Temp.	° C	45	60	56	56
Motor Bearing Temp.	° C	60	85	75	75

C. Penentuan Arus Nominal Motor dan Setelan Relai

1. Perhitungan arus setting pada motor

Secara matematis nilai arus nominal pada motor dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$I_n = \frac{P}{V \times \cos \phi \sqrt{3}}$$

Jika diketahui : $P = 5000 \text{ kW} = 5.000.000 \text{ W}$

$V = 11 \text{ kV} = 11.000 \text{ V}$

$\cos \phi = 0,88$

Maka,
$$I_n = \frac{5.000.000}{11.000 \times 0,88 \sqrt{3}}$$

$$I_n = \frac{5.000.000}{16766,251}$$

$$I_n = 298,21 \text{ A}$$

Jadi arus nominal pada motor adalah 298,21 Amper

2. Menghitung arus nominal sekunder

Diketahui :

$$\text{Daya Motor} = 5000 \text{ kW}$$

$$I_n = 298,21 \text{ A}$$

$$CT = 400 / 5 \text{ A}$$

$$I_s = \frac{298,21}{80}$$

$$= 3,728 \text{ A}$$

Jadi arus yang menghitung nilai CT yaitu 0,74 Amper

3. Menghitung nilai trafo arus

Diketahui :

$$\text{Daya trafo} = 550 \text{ kV}$$

$$CT = 50 / 5 \text{ A}$$

$$I_n = 298,21 \text{ A}$$

$$I_s = \frac{298,21}{10}$$

$$= 29,821 \text{ Ampere}$$

Setelah mendapatkan arus nominal motor, maka kita dapat menentukan arus setting untuk *relay over current* tersebut, yaitu

Dimana :

$$I_s = K \times I_n$$

K = Konstanta dari *over Current relay*

I_n = Arus Nominal

Jika :

K = 0,77 (didapat pada *setting relay* SPAC 320C)

$I_n = 298,21$ Ampere

Maka :

$$I_s = 0,77 \times 298,21$$

$$= 229,6 \text{ Ampere}$$

Tetapi pada kenyataannya bahwa arus nominal yang diambil untuk melakukan perhitungan untuk menentukan arus *setting over current relay* adalah 308 Ampere sesuai dengan *name plate* yang ada.

$$I_s = 0,77 \times 308$$

$$= 237,16 \text{ Ampere}$$

Pada waktu pengoperasian motor *raw mill* yang sering terjadi adalah arus gangguan lebih. Gangguan arus lebih ini akan mengakibatkan membesarnya arus yang mengalir pada belitan motor dan melebihi arus *setting* yang diizinkan. Oleh karena itu proteksi motor terhadap arus lebih merupakan proteksi yang sangat penting. Maka dengan didapatnya arus *setting* pada motor, kita dapat melakukan penyetingan terhadap relai arus lebih ini yaitu sebesar 237,16 Ampere.

Tabel 4.4 Perbandingan data lapangan dengan hasil perhitungan

<i>Over Current Relay</i>		
	Hasil Data Lapangan	Hasil Data Perhitungan
Arus Nominal (In)	308 Ampere	298,21 Ampere
Arus <i>Setting</i> (Is)	237,16 Ampere	229,6 Ampere

Dari data lapangan sesuai dengan *name plate* atau berdasarkan buku yang terdapat pada PT. Semen Bosowa Maros, bahwa motor *raw mill* dengan daya 5000 kW, tegangan 11000 Volt dan arus nominal 308 Ampere maka arus settingnya 237,16 Ampere.

Sedangkan dari hasil perhitungan, motor *raw mill* dengan daya 5000 kW, tegangan 11000 Volt maka arus nominal motor 298,21 Ampere dan arus *setting* lainnya yaitu 229,6 Ampere.

Secara ideal arus motor *raw mill* pada saat berjalan harus berada maksimal 90% dari arus nominalnya, hal ini untuk menjaga agar motor tidak bekerja secara maksimal dan mudah mengalami kerusakan. Ini berarti arus motor dalam kondisi ideal. $90\% \text{ dari } 308 \text{ Ampere} = 277,2 \text{ Ampere}$.

Over Current (Arus lebih) merupakan arus yang mengaklir pada suatu rangkaian melebihi dari arus normal ketika beban penuh yang mengalir pada rangkaian motor tersebut. *Over current* itu sendiri dapat terjadi karena *Overload* (kelebihan beban) maupun *Short Circuit* (hubung singkat) yang terjadi pada rangkaian. *Over current* yang terjadi di PT. Semen Bosowa Maros yaitu

disebabkan oleh kelebihan beban pada saat motor star dan juga material batu yang terlalu besar ketika dimasukan kepada penggiling sehingga motor tidak beroperasi.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari pembahasan sistem proteksi motor *raw mill* menggunakan relai SPAC 320 C, maka disimpulkan bahwa :

1. Penggunaan proteksi pada motor *raw mill* sangat penting karena dapat menghindari terjadinya kerusakan sehingga dapat mengurangi perbaikan dari motor *raw mill*.
2. Dari hasil evaluasi perhitungan yang dilakukan maka arus nominal pada motor sebesar 298, 21 Ampere, arus sekunder motor sebesar 3,728 Ampere dan arus yang menghitung nilai CT pada trafo sebesar 0,74 Ampere. Dari data lapangan sesuai dengan *name plate* atau berdasarkan buku yang terdapat pada PT. Semen Bosowa Maros, bahwa motor *raw mill* dengan daya 5000 kW, tegangan 11000 Volt dan arus nominal 308 Ampere maka arus settingnya 237,16 Ampere. Sedangkan dari hasil perhitungan, motor *raw mill* dengan daya 5000 kW, tegangan 11000 Volt maka arus nominal motor 298,21 Ampere dan arus *setting* relainya yaitu 229,6 Ampere. Data hasil settingan di lapangan dan hasil perhitungan tidak terdapat perbedaan yang signifikan yaitu 7,56 Ampere.

B. Saran

1. Untuk Penyetingan *over current relay* harus dilakukan perhitungan terhadap arus nominal motor *raw mill* karena arus nominal tidak selalu tertera pada *name Plate*.

2. Untuk kehandalan alat proteksi motor induksi sebaiknya penggunaan komponen-komponen listriknya harus dipilih secara teliti, berkualitas baik dan mengikuti standar IEC (*International Electrotechnical commission*). SNI (Standar Nasional Indonesia).
3. Dalam penentuan setelan relai SPAC 320 C, sebaiknya dicantumkan angka setelan relai dengan jelas, sehingga lebih mudah dapat dipahami.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryanto Tofan, Sutarno, Said Sunardiyo, 2013. "*Frekuensi Gangguan Terhadap Kinerja Sistem Proteksi Di Gardu Induk 150 KV Jepara*" *Jurnal Teknik Elektro*, 5(2): 107-108.
- Avenue Anderson. "*269 Plus Motor Management Relay*" Instruction Manual Multilin: 1.
- Berlianti Rahmi, 2015. "*Analisis Motor Induksi Fasa Tiga Tipe Rotor Sangkar Sebagai Generator Induksi Dengan Variasi Hubungan Kapasitor Untuk Eksitasi*" *Jurnal Nasional teknik Elektro*, 4(1): 111.
- Bunga Pefrianus, 2015. "*Perancangan Sistem Pengendalian Beban Dari Jarak Jauh Menggunakan Smart Relay*" *E-Journal Teknik Elektro Dan Komputer* 4(5): 65-66.
- Dewi Rizki Wardani Lesita, 2013. "*Proteksi Motor Menggunakan Rele Thermal Dengan Mempertimbangkan Metode Starting*" *Jurnal Teknik POMITS*, 1(1): 1-2.
- Harahap Partaonan, 2016. "*Pengaruh Jatuh Tegangan Terhadap Kerja Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Simulink Matlab*" *Jurnal Media ElektriKa*, 9(2): 26-27.
- Hermawan Agung, Iradiratu D.P.K, Belly Yan Dewantara, 2019. "*Deteksi Kegagalan Isolasi Pada Belitan Stator Motor Induksi Berbasis Fast Fourier Transform*" Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM: 100.
- Ilham Taufik Fajar. "*Implementasi Signal4-20ma Sebagai Pengatur Variable Frequency Drive (Vfd) Berbasis Sensor Rtd Pt100*" Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor: 2.
- Kurniawan Putra Ade, Dimas Anton Asfani, Dedet Candra Riawan, (2015). "*Desain Peralatan Pendeteksi Gangguan Hubung Singkat Belitan Stator Motor Induksi Menggunakan Arus Online Berbasis Mikrokontroler*" *Jurnal Teknik Its*, 4(2): 211-212.
- Pradika Hendy, Moediyono, 2012-2013 "*Thermal Overload Relay Sebagai Pengaman Overload Pada Miniatur Gardu Induk Berbasis Programmable Logic Controller (Plc) Cpl-e-E40dr-A*" *Jurnal Gema Teknolog*, 17(2): 81-82.

PT. Semen Bosowa Maros, *File oprasi harian motor raw mill, data setting relay SPAC 320 C, data single line.*

Sarjan Muhammad, 2011. "Perbandingan Karakteristik Motor Induksi Belitan Gelung Dengan Belitan Spiral, Perbandingan Karakteristik Motor Induksi Belitan Gelung Dengan Belitan Spiral" *Jurnal Ilmiah Foristek*, 1(1): 7-8.

Udiono Andi, Muh Idris, 2012 "Studi Sistem Proteksi Over Current Relay (OCR) Pada Jaringan 11 KV PT. Semen Bosowa Maros. Skripsi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Zaenal Dede. "Analisa Gangguan Stator Motor Induksi Fasa 3 Dengan Metode Current Signature Analisis Dan Monitoring Temperatur" *Journal Of Electrical Power, Instrumentation And Control (Epic)*: 2-3.

LAMPIRAN

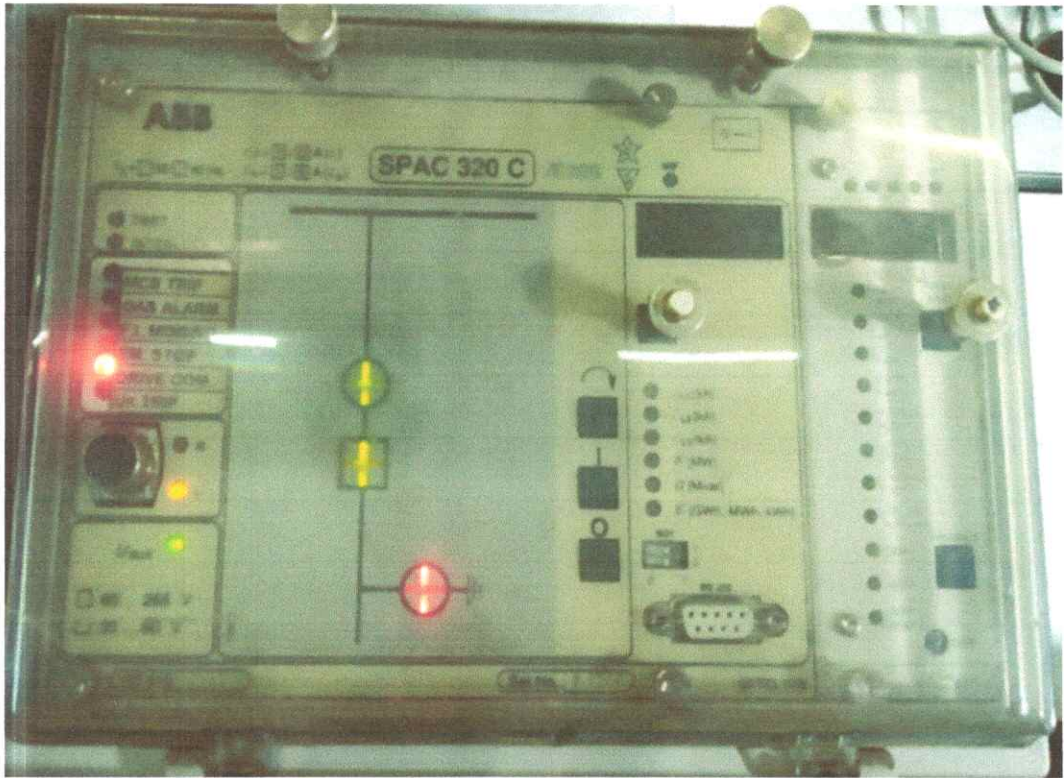
GAMBAR DATA SETTING RELAY TRAVO 550 KVA

BOSOWA

RELAY SETTING LIST

ABB		SETTING TABLE		SPAC 320C		STATION : ER-4	
MOTOR PROTECTION/OVERCURRENT/OVERLOAD RELAY MODULE						PANEL : 3P1-SP1454	
UNIT DATA : TRAF0 361-1T1		CT DATA : 50/5A		NEUTRAL CT : N.A		U N : 11KV	
550 KVA		CLASS : 10VA 5P10		CLASS :		I N : 29A F N : 50 Hz	
POWER SUPPLY		SERIAL NO.		MODULE TYPE		TRIP CONTACT	
U ALU = 50 ... 288 V 50/60 Hz		1 0 7 51		Full load current setting 1 0 0.00		Maximum rate 18x 29	
U ALU = 15 ... 80 V 50/60 Hz		2 1 1 1		0.7% 0.7%		Weighting factor 100	
IN = 50A		3 1 1 1		Prior alarm level 0 + 55		Restart inhibit level 0 1 55	
IN = 15A		4 1 1 1		Start-up current setting 1 x 1.5		Cooling reduction at standstill 5c	
IN = 15A		5 1 1 1		High-set starting value 1 x 1		NOTE :	
		6 1 1 1		Start-up value setting 1 x 30		FOR DETAILS SEE RELAY MANUAL INCLUDED IN DOCU.	
		7 1 1 1		Start-up value setting 1 x 1.5		1x1N = DEFINITE TIME	
		8 1 1 1		Start-up value setting 1 x 1.5		EF = 15A	
		9 1 1 1		Start-up value setting 1 x 1.5			
OPERATION INDICATION		OPERATION INDICATION		OPERATION INDICATION		OPERATION INDICATION	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0		5 0 0 0	
6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0		6 0 0 0	
7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0		7 0 0 0	
8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0		8 0 0 0	
9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0		9 0 0 0	
1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0		1 0 0 0	
2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0		2 0 0 0	
3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0		3 0 0 0	
4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0		4 0 0 0	
5 0 0 0							

GAMBAR STELAN RELAY SPAC 320 C DI LAPANGAN



GAMBAR MOTOR *RAW MILL*



GAMBAR *CENTRAL CONTROL ROOM (CCR)*

