

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam suatu negara berkembang, laju kebutuhan energi listrik kian bertambah seiring dengan bertambahnya laju pertumbuhan penduduk maupun laju perkembangan ekonomi negara. Dengan adanya hal tersebut maka perlu ditingkatkan kapasitas pembangkitan energi listrik. Disisi lain perlu juga diperhatikan kualitas daya dari energi listrik yang ada selain dari sisi peningkatan kapasitas. Dalam sistem tenaga listrik telah diketahui bahwa suatu sistem tidak akan terlepas dari adanya gangguan baik yang bersifat internal ataupun eksternal. Adanya gangguan tersebut dapat memicu terjadinya permasalahan pada kualitas daya suatu sistem. Pertumbuhan listrik dari suatu Negara adalah dua kali dari pertumbuhan ekonominya. Dengan adanya pertumbuhan ekonomi, maka daya beli masyarakat juga meningkat. Meningkatnya daya beli ini ditandai dengan semakin banyaknya peralatan-peralatan elektronik *non linier* yang dimiliki oleh seseorang. Disisi lain, dengan semakin berkembangnya pemakaian teknologi elektronika dalam sistem tenaga maka semakin banyak pula peralatan-peralatan *non linier* yang dipergunakan di industri. Peralatan *non linier* ini dapat mempengaruhi kualitas daya, karena beban non linier ini merupakan sumber utama dari gangguan harmonisa. Kadar harmonisa yang tinggi dalam sistem daya listrik tidak dikehendaki karena dapat menimbulkan kerugian. (Iskandar 2009)

Permasalahan daya listrik lain yang penting diamati adalah fenomena harmonik. Untuk meminimalisir dampak dari timbulnya harmonik yang terjadi pada beban-beban non linear seperti motor induksi diperlukan peralatan filter harmonik. Adanya fenomena harmonik yang terjadi maka akan menimbulkan efek negatif pada peralatan listrik, secara khusus efek atau dampak yang ditimbulkan oleh harmonisa pada system tenaga listrik yaitu tegangan harmonik dapat mengganggu peralatan kontrol yang digunakan system elektronik, menyebabkan kesalahan pada peralatan pengukuran listrik, mengganggu alat-alat pengaman

dalam system tenaga listrik seperti relay dan mesin-mesin berputar seperti generator dan motor yang dapat menyebabkan panas dan getaran pada mesin-mesin tersebut.(Kukuh 2014).

Pada data harmonisa yang terdapat di PT.Indocement THDv harmonisa di orde 3,5 dan 7 didapat sebagai berikut : pada orde (3) L1=0,25%, L2=0,14%, L3=0,17%, N=91,65% , pada orde (5) L1=0,68%, L2=0,75%, L3=0,72%, N=31,06% pada orde (7) L1=0,78%, L2=0,74%, L3=0,75% N=11,37% Standar IEEE harmonisa tegangan pada bus <69 KV adalah 5% Kemudian pada hasil pengukuran THDi orde (3) L1=1,52%, L2=2,6%, L3=4,98%, N=35,59% pada orde (5) L1=2,96%, L2=2,92%, L3=3,83%, N=20,48% pada orde (7) L1=1,82%, L2=2,92%, L3=3,83%, N=14,6% Standar IEEE harmonisa arus <20 A pada orde <11 adalah 4%. (data Agustus 2016).

Demikian juga dengan pabrik di PT.Indocement karena fenomena harmonisa ini sering diabaikan oleh beberapa industry sehingga dampak yang timbul dapat menyebabkan kerusakan pada mesin-mesin listrik seperti motor induksi 3-fasa yang harus bekerja terus-menerus. Sehingga perlu adanya tindakan untuk meredam harmonik dengan memasang filter harmonic pada system kelistrikan pabrik yang hingga sekarang belum ada. Dengan pemasangan filter diharapkan dapat meminimalisir dampak yang akan terjadi.

1.2 Rumusan Masalah

Mengacu pada latar belakang yang telah dijelaskan maka pada tugas akhir ini penulis akan merumuskan masalah .

1. Bagaimana mengukur harmonisa yang timbul akibat motor induksi 3-fasa *RAW MILL PLANT 10 SS E3 PT.Indocement Tunggal Prakarsa Tbk.*
2. Bagaimana cara menetapkan kapasitas L dan C pada *filter pasif (singel tuned)* guna meredam harmonisa pada motor induksi 3-fasa *RAW MILL PLANT 10 SS E3.*

1.3 Tujuan Penulisan

1. Membandingkan harmonisa yang timbul akibat motor induksi 3-fasa *RAW MILL PLANT 10 SS E3* dengan standar IEEE Std 519-1992.
2. Menghitung kapasitas L dan C pada *filter pasif (singel tuned)* guna meredam harmonisa pada motor induksi 3-fasa *RAW MILL PLANT 10 SS E3.*

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan ini lebih terarah, penulis membatasi permasalahan yang akan dibahas pada laporan Tugas Akhir ini yaitu :

1. Menjelaskan dampak harmonisa yang timbul akibat motor induksi 3-fasa *RAW MILL PLANT 10 SS E3 PT.Indocement Tunggal Prakarsa Tbk.*
2. Menghitung dan menetapkan kapasitas L dan C pada *filter pasif (single tuned)* pada motor induksi 3-fasa *RAW MILL PLANT 10 SS E3* yang hendak dipasang.

1.5 Manfaat Penelitian

Berikut adalah beberapa manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini :

Bagi Mahasiswa :

1. Memperoleh kesempatan terjun ke dunia praktis atau terapan serta mengamalkan ilmu yang telah diperoleh untuk menyelesaikan permasalahan dalam dunia nyata.
2. Penelitian ini sebagai sarana pengembangan diri, memperluas wawasan dan pengalaman di dunia nyata.

Bagi Pihak Umum :

1. Memberi solusi tentang bagaimana cara memperbaiki dan meminimalisir dampak harmonisa yang muncul.
2. Memberi informasi tentang fungsi dan pentingnya pemasangan *filter pasif (single tuned)* sebagai peredam harmonisa yang muncul pada motor induksi 3-fasa *RAW MILL PLANT 10 SS E3 PT.Indocement Tunggal Prakarsa Tbk.*

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Membahas mengenai latar belakang, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metode penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Membahas mengenai teori-teori yang mendukung dari masing-masing bagian dan juga menjadi panduan atau dasar dari pembuatan skripsi ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi metodologi penelitian yang akan dilakukan yang meliputi studi literatur, survey lapangan dan pengambilan data, perancangan dan analisis terhadap data yang di peroleh.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Berisi perhitungan, analisa serta pembahasan terhadap masalah yang diajukan dalam skripsi.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi mengenai kesimpulan dan saran penyusun.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi tentang literatur yang digunakan sebagai acuan pembahasan permasalahan.

LAMPIRAN

Berisi kelengkapan data yang dapat di tinjau oleh pembaca seperti data data teknis, gambar, tabel dan lainnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Bramantya Ribandono (2015) Melakukan penelitian di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta mengenai Analisa Pengaruh Distorsi Harmonik Total terhadap efisiensi Motor Induksi. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa Besar THDi pada motor induksi 3 fase dengan menggunakan kontrol lebih besar daripada THDi pada motor induksi 3 fase tanpa menggunakan kontrol dengan hasil data THDi pada motor induksi 3 fase dengan menggunakan kontrol di ambil contoh pada frekuensi 90 Hz sebanyak I_{sa} : 4,75%, I_{sb} : 6,95%, dan I_{sc} : 7,71%, sedangkan THDi pada motor induksi 3 fase tanpa menggunakan kontrol hanya sebesar I_r : 1,04%, I_s : 1,31%, dan I_t : 5,86%. Ini artinya pada motor induksi 3 fase dengan menggunakan kontrol terdapat harmonisa yang lebih besar dibandingkan dengan motor induksi 3 fase tanpa menggunakan control.

Muhammad Rusli (2009) Melakukan penelitian Desain Filter Harmonisa Single Turned Sebagai Kompensator Distorsi Harmonisa Arus (THDi) Pelanggan Arc Furnaces di pelanggan arc furnaces 20 kV dengan daya terpasang sebesar 3.115 kVA, yang dipasok dari gardu induk 150/20 kV Sei Rotan. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa Harmonisa arus individual (IHDi) pelanggan Arc Furnaces untuk orde 5, 11 dan 23 melampaui standard IEEE 519-1992. Dan Kapasitas filter yang diperlukan untuk mengkompensasi harmonisa orde ke 5 pada sisi penyedia tenaga listrik (sisi 20 kV) adalah : Capacitor 1.809 kVar/30,15 A, Induktor 150,14 Ohm.

Iskandar Zulkarnain (2009) Melakukan penelitian pengaruh harmonisa terhadap arus netral, rugi-rugi dan penurunan kapasitas pada transformator di Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pembebanan transformator pada transformator teknik kimia, teknik sipil, teknik elektro dan teknik mesin sangat rendah dimana pembebanannya kurang dari 25%. Pembebanan darike tempat transformator distribusi tidak seimbang dan THD arus di empat transformator pada waktu-waktu tertentu ada yang melebihi

standar. Sedangkan untuk THD tegangannya tidak ada yang melebihi standar. Karakteristik/komposisi harmonisa arus pada ke empat transformator distribusi yang paling dominan adalah harmonisa ke-3, harmonisa ke-5 dan harmonisa ke-7.

2.2 Landasan Teori

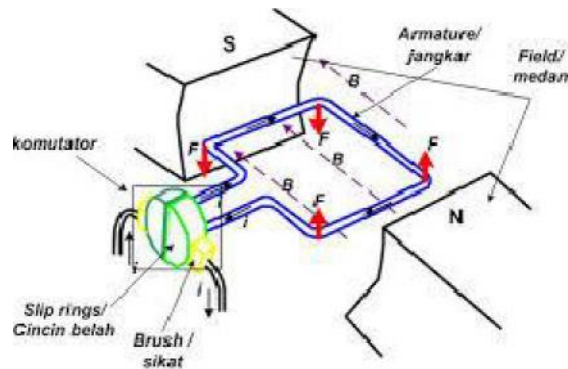
2.2.1 Motor-motor listrik

Pada umumnya motor listrik adalah sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk memutar impeller pompa, fan atau blower, menggerakkan kompresor, mengangkat beban, dll. Motor listrik juga digunakan di peralatan rumah tangga seperti (Mixer, bor listrik, kipas angin). Di industri motor listrik kadangkala disebut “kuda kerja“ nya industri karena diperkirakan bahwa motor-motor listrik menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri.

Motor listrik yang umum digunakan di dunia industri adalah motor listrik asinkron, dengan dua standar global yaitu IEC dan NEMA. Motor asinkron IEC berbasis metric (millimeter), sedangkan motor listrik NEMA berbasis imperial (inch), dalam aplikasi ada satuan daya dalam horsepower (Hp) maupun kilowatt (kW). Motor listrik IEC dibagi menjadi beberapa kelas sesuai dengan efisiensi yang dimilikinya, sebagai standar di EU pembagian kelas ini menjadi EFF1, EFF2, dan EFF3. Untuk EFF1 adalah motor listrik yang paling efisien karena paling sedikit memboroskan tenaga, sedangkan EFF3 sudah tidak boleh dipergunakan dalam lingkungan EU sebab memboroskan bahan bakar di pembangkit listrik dan secara otomatis akan menimbulkan buangan karbon yang terbanyak sehingga lebih mencemari lingkungan. Standar IEC yang berlaku adalah IEC 34-1, ini adalah sebuah standar yang mengatur rotating equipment bertanaga listrik. Ada banyak perusahaan elektrik motor tetapi hanya sebagian saja yang benar-benar mengikuti arahan IEC 34-1 dan juga mengikuti arahan level efisiensi dari EU.

2.2.2 Cara Kerja Motor Listrik

Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor listrik secara umum sama, seperti terlihat pada Gambar



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Motor Listrik

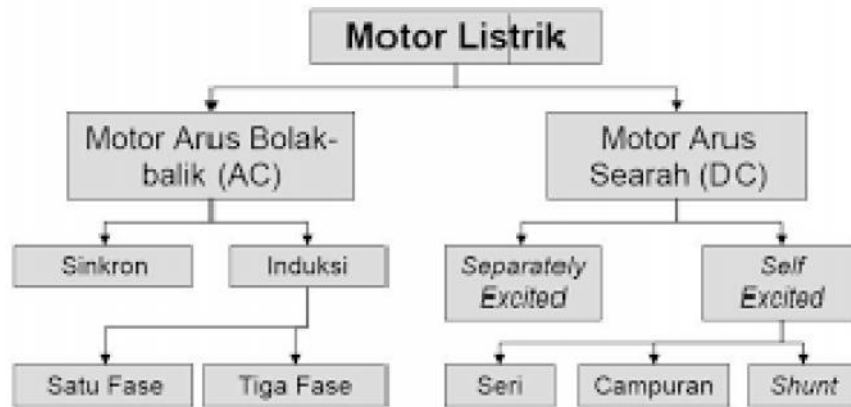
Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran / loop, maka kedua sisi loop yaitu pada sudut kanan medan magnet akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/torque untuk memutar kumparan rotor. Motor-motor memiliki beberapa loop pada dinamanya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.

2.2.3 Klasifikasi Motor Listrik

Motor listrik terbagi dua yaitu :

1. Motor arus bolak balik (AC)
 - Motor arus bolak balik (AC) terbagi menjadi :
 - Motor sinkron
 - Motor Induksi terbagi lagi menjadi :
 - ✓ Motor induksi 1 fasa
 - ✓ Motor induksi 3 fasa
2. Motor arus searah (DC)
 - Motor arus searah (DC) terbagi menjadi:
 - Motor DC shunt

- Motor DC seri
- Motor DC Compound



Gambar 2.2 Klasifikasi Motor

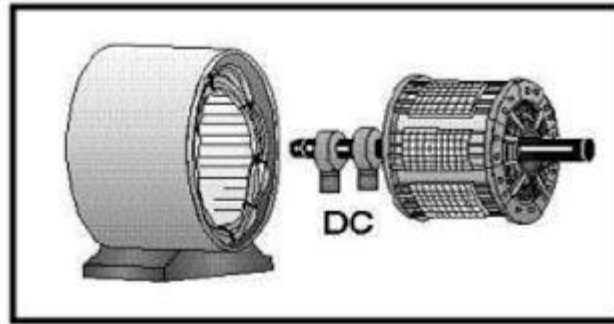
2.2.4 Motor Listrik Arus Bolak-Balik (AC)

Motor listrik arus bolak-balik adalah jenis motor listrik yang beroperasi dengan sumber tegangan arus listrik bolak-balik AC (Alternating Current). Motor listrik AC memiliki dua buah bagian dasar listrik : stator dan rotor. Stator merupakan komponen listrik statis sedangkan rotor merupakan komponen listrik yang berputar untuk memutar as motor. Keuntungan utama motor DC terhadap motor AC adalah bahwa kecepatan motor AC lebih sulit dikendalikan. Untuk mengatasi kerugian ini, motor AC dapat dilengkapi dengan penggerak frekuensi variable untuk meningkatkan kendali kecepatan sekaligus menurunkan dayanya. Motor listrik arus bolak-balik AC ini dapat dibedakan lagi berdasarkan sumber dayanya, sebagai berikut.

2.2.4.1 Motor Sinkron

Adalah motor AC yang bekerja pada kecepatan tetap pada sistem frekuensi tertentu. Motor ini memerlukan arus searah (DC) untuk membangkitkan daya dan memiliki torque awal yang rendah, oleh karena itu motor sinkron cocok untuk penggunaan awal untuk beban rendah, seperti

kompresor udara, perubahan frekuensi dan generator motor. Motor sinkron mampu untuk memperbaiki faktor daya, sehingga sering digunakan pada sistem yang menggunakan banyak listrik.



Gambar 2.3 Motor Sinkron

Komponen utama motor sinkron :

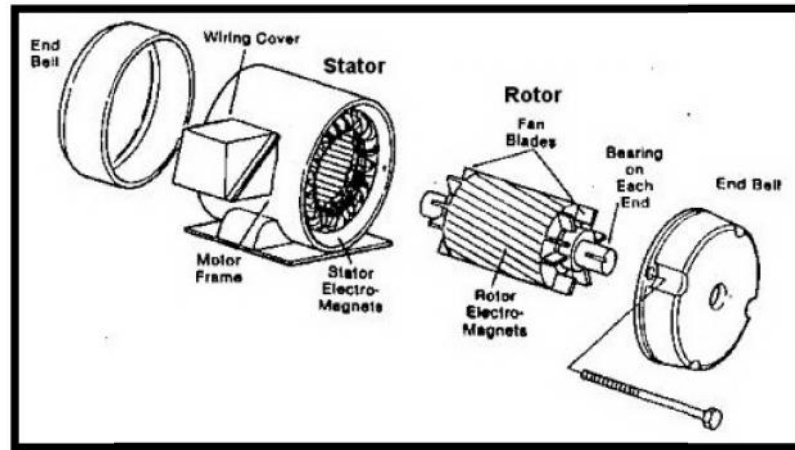
Rotor, Arus searah ke rotor sebuah mesin sinkron biasanya dibekalkan dari sebuah generator dc yang kecil, yang dinamakan pengeksitasi (*exciter*), yang seringkali dinaikan pada poros yang sama seperti motor tersebut dan dibekali dengan daya mekanis dari motor. perbedaan utama antara motor sinkron dengan motor induksi adalah bahwa rotor mesin sinkron berjalan pada kecepatan yang sama dengan perputaran medan magnet. Hal ini memungkinkan medan magnet rotor tidak lagi terinduksi. Rotor memiliki magnet permanen atau arus DC-excited, yang dipaksa untuk mengunci pada posisi tertentu bila dihadapkan dengan medan magnet lainnya.

Stator, stator menghasilkan medan magnet berputar yang sebanding dengan frekuensi yang dipasok.

2.2.4.2 Motor Induksi

Merupakan motor listrik AC yang bekerja berdasarkan induksi medan magnet antara rotor dan statornya. Motor induksi merupakan motor yang paling umum digunakan pada berbagai peralatan di industri. Popularitasnya karena rancangannya yang sederhana, murah dan mudah didapat, dan dapat langsung disambungkan ke sumber daya AC.

2.2.5 Konstruksi Motor Induksi



Gambar 2.4 Konstruksi Motor 3-Fasa

Stator



Gambar 2.5 Stator

Stator, stator dibuat dari sejumlah stampings dengan slots untuk membawa gulungan tiga fase. Gulungan ini dilingkarkan untuk sejumlah kutub tertentu, gulungan diberi spasi geometri sebesar 120 derajat.

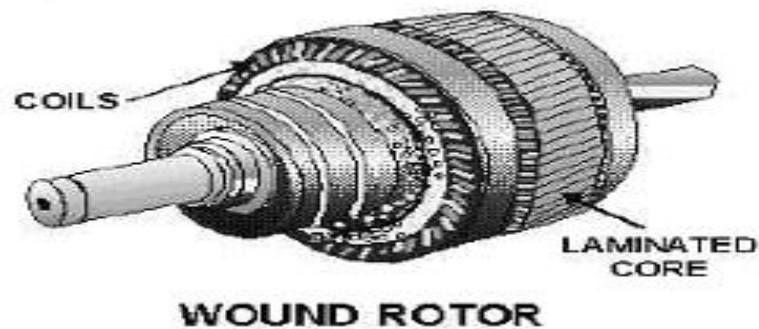
Stator mempunyai bagian :

- Gandar, fungsinya sebagai penopang dan sebagai pelindung bagian dalam mesin.
- Inti stator, terbuat dari laminasi logam yang disusun berlapis.
- Kumparan stator.

Rotor

Ada 2 jenis rotor dalam motor induksi tiga fasa yaitu :

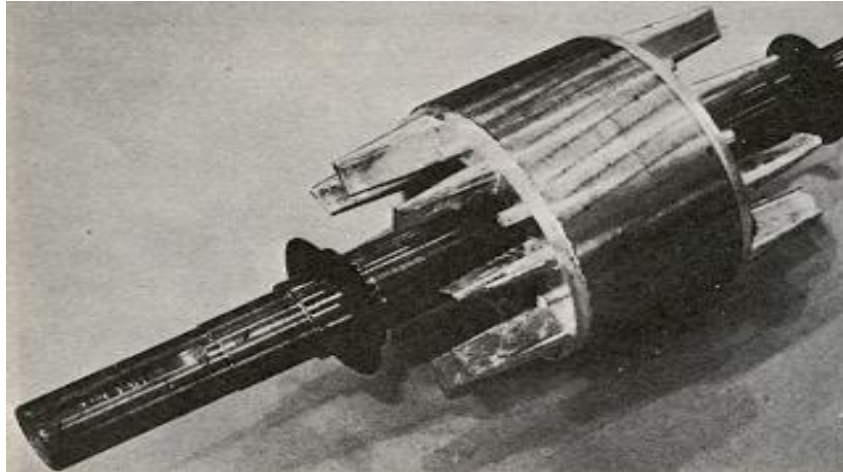
Rotor Belitan



Gambar 2.6 Rotor belitan

Motor induksi jenis ini memperlihatkan sebuah rotor yang dililit dengan sebuah lilitan yang serupa dengan dan yang mempunyai banyaknya kutub yang sama seperti lilitan stator dengan terminal-terminal lilitan dihubungkan ke cincin slip cincin pengumpul pada ujung kiri poros tersebut. Peletakan kwas (sikat) karbon pada cincin-cincin ini akan membuat terminal-terminal rotor tersedia di titik-titik yang di luar motor tersebut sehingga resistansi tambahan dapat disisipkan dalam rangkaian rotor jika diinginkan. Kumparan stator dan rotor juga mempunyai jumlah kutub yang sama. Penambahan tahanan luar sampai harga tertentu, dapat membuat kopel mula mencapai harga kopel maksimumnya. Motor induksi dengan rotor belitan memungkinkan penambahan (pengaturan) tahanan luar. Tahanan luar yang dapat diatur ini dihubungkan ke rotor melalui cincin (gambar) selain untuk menghasilkan kopel mula yang besar, tahanan luar tadi diperlukan untuk membatasi arus mula yang besar pada saat start. Disamping itu dengan mengubah-ubah tahanan luar, kecepatan motor dapat diatur.

Rotor Sangkar



Gambar 2.7 Rotor Sangkar

Motor induksi jenis ini mempunyai motor dengan kumparan yang terdiri atas beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa hingga mempunyai sangkar tupai (lihat gambar) konstruksi rotor sangkar tupai dengan sebuah lilitan yang terdiri dari batang-batang penghantar yang ditanamkan dalam celah-celah dalam besi rotor tersebut dan dirangkaikan pendek di setiap ujung oleh cincin-cincin ujung penghantar.

Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama (Parekh 2003), yaitu:

1. Motor Induksi Satu Fasa

Motor ini hanya memiliki satu gulungan stator, beroperasi dengan pasokan daya satu fase, memiliki sebuah rotor kandang tupai dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejauh ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga, seperti kipas angin, mesin cuci, dan pengering pakaian, dan untuk penggunaan hingga 3 - 4 Horsepower (Hp).

2. Motor Induksi 3-Fasa

Motor induksi 3 fasa bekerja berdasarkan medan magnet yang berputar yang dihasilkan dari pasokan sumber listrik 3 fasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai) dan penyalaan sendiri. Diperkirakan sekitar 70% motor di industri menggunakan motor jenis ini, sebagai contoh, pompa kompresor, belt conveyor, jaringan listrik dan grinder. Tersedia dalam ukuran 1/3 hingga ratusan Horsepower (Hp).

2.2.6 Motor Listrik Arus Searah (DC)



Gambar 2.8 Motor DC

Motor listrik arus searah adalah jenis motor listrik yang beroperasi dengan sumber tegangan arus listrik searah (DC, Direct Current). Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalaan torsi yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas. Sebuah motor DC memiliki tiga komponen utama, yaitu :

1. Kutub Medan

Adalah interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC, motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan dinamo yang menggerakkan bearing pada ruang diantara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan (kutub utara dan kutub selatan). Garis magnetik energi membesar melintasi bukaan diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet. Elektromagnet menerima listrik dari sumber daya dari luar sebagai penyedia struktur medan.

2. Dinamo

Bila arus masuk menuju dinamo, maka arus ini akan menjadi elektromagnet. Dinamo yang berbentuk silinder dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan dinamo.

3. Komutator

Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk membalikkan arah arus listrik dalam dinamo. Kommutator juga membantu dalam transisi arus antara dinamo dan sumber daya.

Keuntungan utama penggunaan motor DC adalah kecepatannya mudah dikendalikan dan tidak terpengaruh kualitas pasokan daya, motor DC ini dapat dikendalikan dengan mengatur :

- Tegangan dinamo, dengan meningkatkan tegangan dinamo akan meningkatkan kecepatan.
- Arus medan, menurunkan arus medan akan meningkatkan kecepatan.

Motor DC tersedia dalam banyak ukuran, namun penggunaannya pada umumnya dibatasi untuk beberapa penggunaan berkecepatan rendah, penggunaan

daya rendah hingga sedang, seperti peralatan mesin dan rolling mills, sebab sering terjadi masalah dengan perubahan arah arus listrik mekanis pada ukuran yang lebih besar. Juga, motor tersebut dibatasi hanya untuk penggunaan di area yang bersih dan tidak berbahaya sebab resiko percikan api pada sikatnya. Motor DC juga relatif lebih mahal dibanding motor AC.

Secara umum motor listrik arus searah (DC) dapat dibedakan berdasarkan sumber dayanya, sebagai berikut.

2.2.6.1 Motor DC sumber daya terpisah (*Separately Excited*)

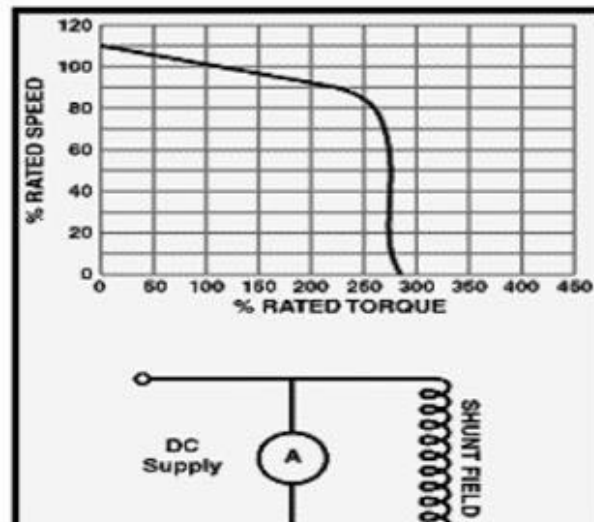
Adalah jenis motor DC yang sumber arus medan disupply dari sumber terpisah, sehingga motor listrik ini disebut motor DC sumber daya terpisah (separately excited).

2.2.6.2 Motor DC sumber daya sendiri (*Self Excited*)

Adalah jenis motor DC yang sumber arus medan disupply dari sumber yang sama dengan kumparan motor listrik, sehingga motor listrik DC ini disebut motor DC daya sendiri (self excited). Motor DC sumber sendiri / self excited ini dibedakan lagi menjadi 3 jenis berdasarkan konfigurasi supply medan kumparan motornya.

1. Motor DC Shunt

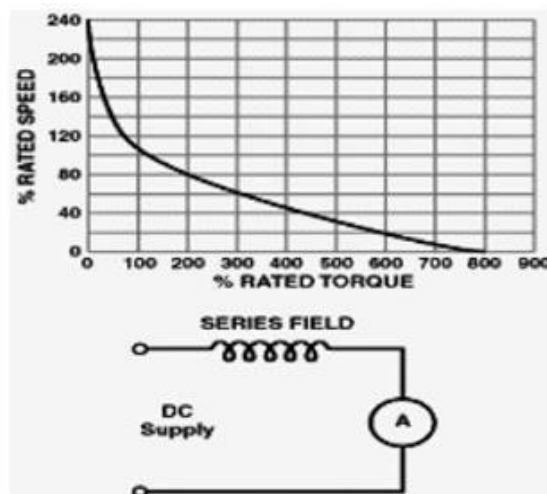
Pada motor DC shunt gulungan medan (medan shunt) disambungkan secara paralel dengan gulungan motor listrik. Oleh karena itu total arus dalam jalur merupakan penjumlahan arus medan dan arus dinamo.



Gambar 2.9 Kurva motor DC Shunt.

2. Motor DC Seri

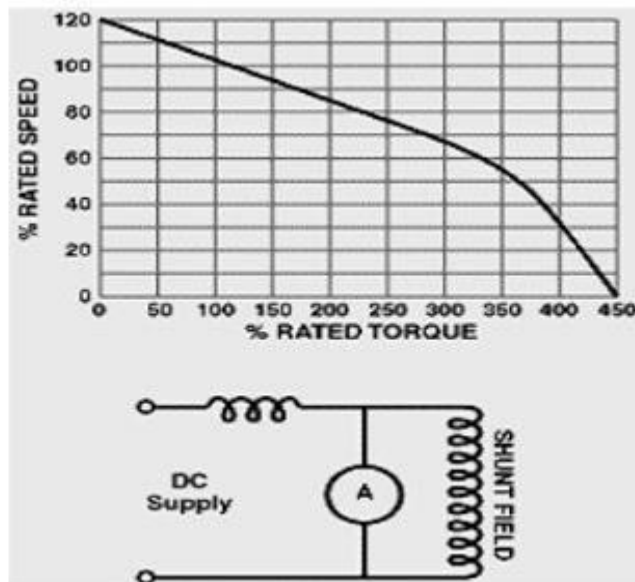
Pada motor DC seri gulungan medan (medan shunt) dihubungkan secara seri dengan gulungan dinamo motor. Oleh karena itu arus medan sama dengan arus dinamo.



Gambar 2.10 Kurva motor DC Seri.

3. Motor DC Kompon / Campuran

Motor DC kompon merupakan gabungan motor seri dan motor shunt. Pada motor kompon, gulungan medan (medan shunt) dihubungkan secara paralel dan seri dengan gulungan dinamo. Sehingga, motor kompon memiliki torque penyalan awal yang bagus dan kecepatan yang stabil. Makin tinggi persentase penggabungan (yakni persentase gulungan medan yang dihubungkan secara seri), makin tinggi pula torque penyalan awal yang dapat ditangani oleh motor ini. Contoh, sebagai penggabungan 40-50% menjadikan motor ini cocok untuk alat pengangkat hoist dan derek, sedangkan motor kompon yang standar (12%) tidak cocok (myElectrical, 2005).



Gambar 2.11 Kurva motor DC Campuran

2.3 Motor Induksi 3 Fasa

2.3.1 Pengertian Motor Induksi 3 Fasa

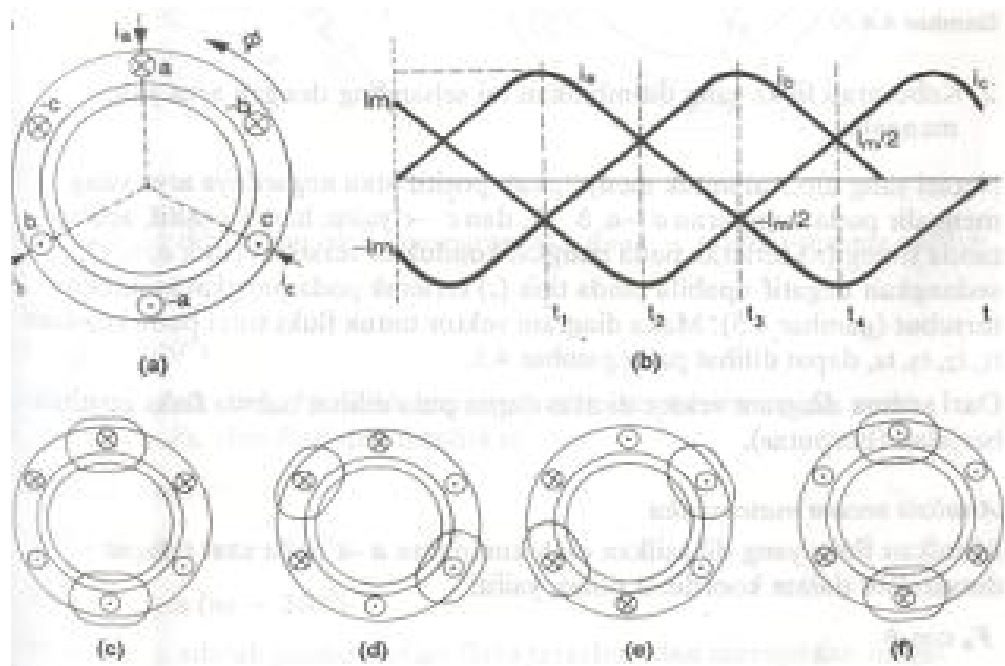
Motor induksi 3 fasa merupakan motor listrik AC yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik (gerak / putaran) yang mempunyai slip antara medan stator dan rotor dengan sumber tegangan 3 fasa. Arus rotor motor ini bukan diperoleh dari suatu sumber, tetapi merupakan arus yang terinduksi akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan magnet. Motor

induksi merupakan motor yang paling umum digunakan pada berbagai peralatan di industri. Popularitasnya karena rancangannya yang sederhana, murah dan mudah didapat dan dapat langsung disambungkan ke sumber daya AC. Dengan menggunakan motor induksi 3 fasa, banyak hal yang bisa dilakukan. Salah satunya adalah dengan membalik arah putarannya sesuai dengan yang diinginkan. Cara yang sering dilakukan dalam pembalikan arah putaran adalah dengan menukar salah satu fasa dengan fasa lainnya yang terhubung pada lilitan stator.

Motor induksi 3 fasa berputar pada kecepatan yang pada dasarnya adalah konstan. Kecepatan putaran motor ini dipengaruhi oleh frekuensi, dengan demikian pengaturan kecepatan tidak dapat dengan mudah dilakukan terhadap motor ini, namun motor induksi 3 fasa merupakan jenis motor listrik yang paling banyak digunakan pada dunia industri karena sesuai kebutuhan dan memiliki banyak keuntungan. Motor induksi ini disebut juga sebagai “kuda kerjanya” di dunia industri, karena hampir 70% daya yang dihabiskan dalam pemakaian beban listrik dihasilkan oleh motor ini.

2.3.2 Medan putar

Perputaran motor pada mesin arus bolak-balik ditimbulkan oleh adanya medan putar (fluks yang berputar) yang dihasilkan dalam kumparan statornya. Medan putar ini terjadi apabila kumparan stator dihubungkan dalam fasa banyak, umumnya tiga fasa. Hubungan dapat berupa bintang atau delta. Disini akan dijelaskan bagannana terjadinya medan putar itu. Perhatikan gambar dibawah ini.



Gambar 2.12 Medan Putar

Misalnya kumparan a-a; b-b; c-c dihubungkan 3 fasa, dengan fasa masing-masing 120° (gambar) dan dialiri arus sinusoid. Distribusi i_a , i_b , i_c sebagai fungsi waktu adalah seperti gambar. Pada keadaan t_1 , t_2 , t_3 , dan t_4 fluks resultan yang ditimbulkan oleh kumparan tersebut masing-masing adalah seperti gambar c, d, e, dan f. Pada t_1 fluks resultannya mempunyai arah sama dengan arah fluks yang dihasilkan oleh kumparan a-a; sedangkan t_2 fluks resultannya mempunyai arah sama dengan fluks yang dihasilkan oleh kumparan c-c; dan untuk t_3 fluks resultan mempunyai arah sama dengan fluks yang dihasilkan oleh kumparan b-b. Untuk t_4 , fluks resultannya berlawanan arah dengan fluks resultan yang dihasilkan pada saat t_1 . Dari gambar c, d, e, dan f tersebut terlihat fluks resultan ini akan berputar satu kali. Oleh karena itu untuk mesin dengan jumlah kutub lebih dari dua, kecepatan sinkron dapat diturunkan sebagai berikut:

$$N_s = \frac{120.f}{p}$$

f = frekuensi

P = jumlah kutub

2.3.3 Prinsip Kerja Motor Induksi

Secara umum, motor induksi 3 fasa bekerja apabila sumber tegangan 3 fasa dipasang pada kumparan stator dan memanfaatkan perbedaan fasa sumber untuk menimbulkan gaya putar dengan kecepatan. Apabila sumber tegangan 3 fasa dipasang pada kumparan stator, timbullah medan putar dengan kecepatan

$$N_s = \frac{120.f}{p}$$

Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada sisi rotor, akibatnya pada kumparan rotor akan timbul tegangan induksi (ggl). Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka tegangan induksi akan menghasilkan arus (I). Sehingga arus dalam medan magnet akan menimbulkan gaya pada rotor. Bila torsi awal yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul torsi beban, maka rotor akan berputar searah dengan arah medan putar stator.

Untuk membangkitkan tegangan induksi agar tetap ada, maka diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (N_s) dengan kecepatan medan putar rotor (N_r). Perbedaan antara kecepatan (N_s) dan (N_r) disebut dengan *Slip* (S) yang dinyatakan dengan persamaan.

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\%$$

Dimana:

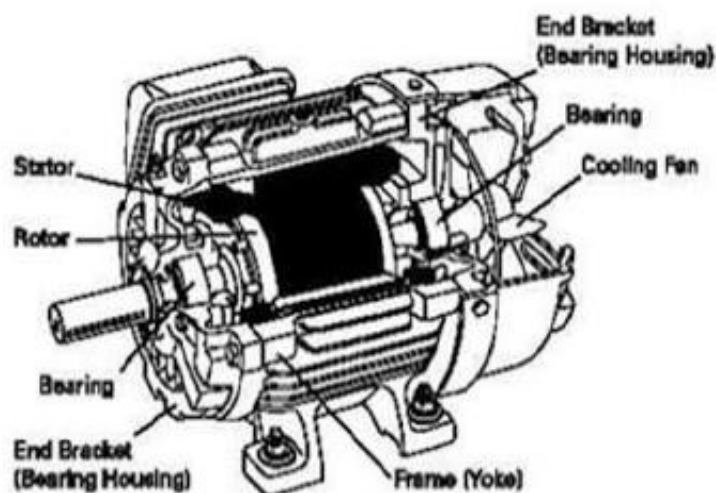
N_s = Medan putar stator

N_r = Medan putar rotor

Bila $n_r = n_s$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor, dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila $n_r < n_s$. Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron.

2.3.4 Kontruksi Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi 3 fasa memiliki dua komponen utama, yaitu stator dan rotor. Bagian rotor dipisahkan dengan stator oleh celah udara yang sempit (air gap) dengan jarak antara 0.4 mm sampai 4 mm. Tipe dari motor induksi 3 fasa berdasarkan lilitan pada rotor dibagi menjadi dua macam, yaitu rotor belitan (wound rotor) adalah tipe motor induksi yang memiliki rotor terbuat dari lilitan yang sama dengan lilitan statornya. Sedangkan rotor sangkar tupai (squirrel - cage rotor) adalah tipe motor induksi dimana kontruksi rotor tersusun oleh beberapa batangan logam yang dimasukkan melewati slot-slot yang ada pada rotor motor induksi, kemudian setiap bagian disatukan oleh cincin sehingga membuat batangan logam terhubung singkat dengan batangan logam yang lain.



Gambar 2.13 Kontruksi Motor Induksi 3 Fasa

2.3.4.1 Bagian Stator

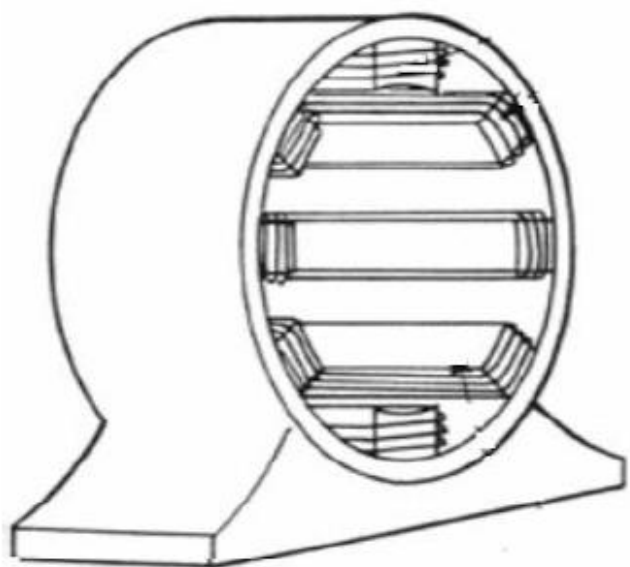
Stator merupakan komponen motor yang diam, di bagian stator terdapat beberapa slot yang merupakan tempat kawat (konduktor) dari tiga kumparan tiga fasa yang disebut kumparan stator. Jika kumparan stator mendapatkan suplai arus tiga fasa, maka pada kumparan tersebut segera timbul flux magnet putar. Karena adanya flux magnet putar pada kumparan stator, mengakibatkan rotor berputar

karena adanya induksi magnet dengan kecepatan putar rotor sinkron dengan kecepatan putar stator

$$N_s = \frac{120.f}{p}$$

Konstruksi stator terdiri dari :

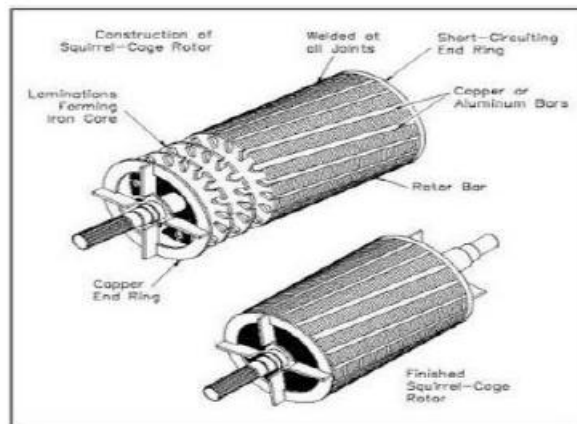
1. Rumah stator yang terdiri dari besi tuang
2. Inti stator yang terbuat dari besi lunak atau baja silikon
3. Terdapat slot untuk menempatkan kawat belitan
4. Belitan stator yang terbuat dari tembaga



Gambar 2.14 Kontruksi stator

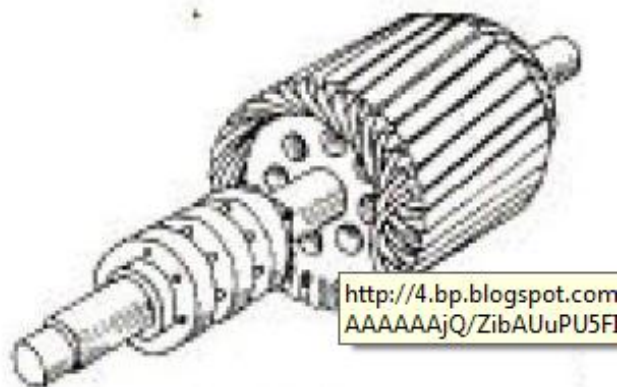
2.3.4.2 Bagian Rotor

Merupakan tempat kumparan rotor dan bagian dari motor yang bergerak atau berputar. Ada dua jenis kumparan rotor, yaitu squirrel-cage rotor dan phase wound rotor. Hampir 90% kumparan rotor dari motor induksi menggunakan jenis squirrel-cage rotor.



Gambar 2.15 Squirrel – Cage Rotor

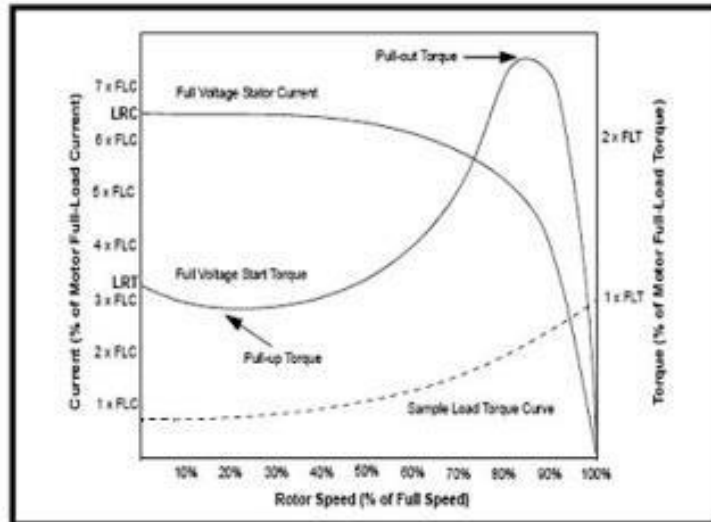
Hal ini disebabkan karena bentuk kumparnya sederhana dan tahan terhadap guncangan. Ciri khusus dari squirrel-cage rotor adalah ujung-ujung kumparan terhubung singkat secara permanen. Lain halnya pada jenis phase wound rotor yang ujung-ujung kumparan rotor akan terhubung langsung bila kecepatan putar rotor telah mencapai kecepatan putar normalnya secara otomatis melalui slip ring yang terpasang pada bagian rotor.



Gambar 2.16 Phase Wound Rotor

2.3.5 Hubungan antara Beban, Kecepatan dan Torsi (torque)

Gambar dibawah ini menunjukkan grafik hubungan antara torque – kecepatan dengan arus pada motor induksi 3 fasa :



Gambar 2.17 grafik antara beban, kecepatan dan torsi

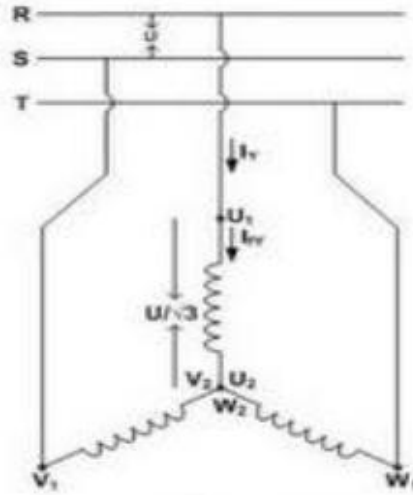
Grafik diatas menunjukkan torsi – kecepatan motor induksi 3 fasa dengan arus yang sudah ditetapkan. Bila motor (Parekh, 2003) :

1. Motor mulai menyala ternyata terdapat arus start yang tinggi akan tetapi torquonya rendah (pull-up torque).
2. Saat motor mencapai 80% dari kecepatan penuh, torquonya mencapai titik tertinggi (pull-out torque) dan arusnya mulai menurun.
3. Pada saat motor sudah mencapai kecepatan penuh atau kecepatan sinkron, arus torque dan stator turun ke nol.

2.3.6 Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa

Pengasutan merupakan metode penyambungan kumparan-kumparan dalam motor induksi 3 fasa. Ada dua model penyambungan kumparan pada motor induksi 3 fasa :

1. Sambungan Star (Y)

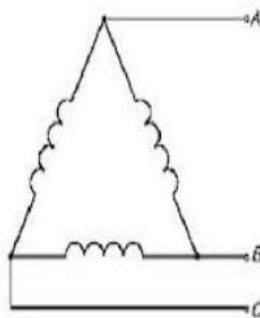


Gambar 2.18 Hubungan Star

Sambungan bintang dibentuk dengan menghubungkan salah satu ujung dari ketiga kumparan menjadi satu. Ujung kumparan yang digabung tersebut menjadi titik netral, karena sifat arus tiga fasa yang jika dijumlahkan ketiganya hasilnya netral atau nol.

Nilai tegangan phase pada sambungan bintang = $\frac{1}{\sqrt{3}}$ x tegangan antar phase.

2. Sambungan Delta (Δ)



Gambar 2.19 Hubungan Delta

Hubungan delta atau segitiga didapat dengan menghubungkan kumparan-kumparan motor sehingga membentuk segitiga. Pada sambungan delta tegangan kumparan sama dengan tegangan antar fasa, akan tetapi arus jaringan sebesar $\frac{1}{\sqrt{3}}$ arus line.

2.3.7 Keuntungan dan Kerugian Motor Induksi 3 Fasa

Keuntungan Motor Induksi 3 Fasa :

1. Kontruksi sangat kuat dan sederhana terutama bila motor dengan rotor sangkar (squirrel-cage rotor).
2. Harga relatif murah dan keandalannya tinggi.
3. Effisiensi tinggi pada keadaan berputar normal, tidak dibutuhkan sikat sehingga rugi gesekan kecil.
4. Biaya pemeliharaan rendah karena pemeliharaan motor hampir tidak diperlukan.
5. Tidak memerlukan starting tambahan dan tidak harus sinkron.

Kerugian Motor Induksi 3 Fasa :

1. Kecepatan tidak mudah dikontrol.
2. Power faktor rendah pada beban ringan.
3. Arus start biasanya 5 – 7 kali dari arus nominalnya.

2.4 Power Quality Analyzer

Adalah suatu peralatan ukur yang digunakan untuk mengetahui kualitas daya dari tenaga listrik. Alat ini sangat kompleks, karena dapat mengukur tegangan, arus listrik, frekuensi, daya kompleks, daya aktif, daya reaktif dan factor daya. Pada penelitian ini, parameter yang diukur menggunakan peralatan ini adalah besaran listrik dasar, yaitu tegangan, arus dan frekuensi listrik.

2.4.1 Mode Pengukuran

1. Volts / Amps / Hertz

menampilkan layar Meter dengan nilai-nilai pengukuran numerik penting. Layar Trend terkait menunjukkan perubahan dari waktu ke waktu dari semua nilai dalam layar meter.

2. Dips and Swell

Dips & gelombang besar catatan dips, Interupsi, Perubahan tegangan, dan gelombang besar. Dips (Sags) dan gelombang besar penyimpangan cepat dari tegangan normal. Besaran mungkin sepuluh hingga ratusan volt. Durasi mungkin berbeda dari setengah siklus untuk beberapa detik sebagai didefinisikan dalam EN61000-4-30. Analyzer memungkinkan anda untuk memilih nominal atau geser tegangan referensi. Sebuah tegangan bergeser menggunakan nilai yang terukur disaring dengan 1-menit waktu yang konstan.

3. Harmonik

langkah-langkah harmonik dan catatan harmonik dan interharmonics hingga ke-50. Terkait data seperti komponen DC, THD (Total Harmonic Distortion), dan K-faktor yang diukur. Harmonik distorsi periodik sinewaves tegangan, arus, atau kekuasaan. Sebuah gelombang dapat dianggap sebagai kombinasi dari berbagai sinewaves dengan berbagai frekuensi dan besaran.

4. Power & Energy

Power & Energy menampilkan layar Meter dengan semua parameter kekuatan penting. Itu terkait layar Trend menunjukkan perubahan dari waktu ke waktu dari semua nilai pengukuran di meter yang layar.

5. Flicker

Flicker mengkuantifikasi fluktuasi pencahayaan lampu yang disebabkan oleh variasi tegangan suplai. Algoritma balik pengukuran memenuhi EN61000-4-15 dan didasarkan pada Model persepsi dari / sistem sensorik otak mata manusia. Analyzer durasi dan besarnya variasi tegangan menjadi 'faktor kegagalan' yang disebabkan oleh flicker dari lampu 60 W.

Pembacaan flicker tinggi berarti bahwa kebanyakan orang akan menemukan perubahan pencahayaan menjengkelkan. Variasi tegangan dapat relatif kecil. Itu pengukuran dioptimalkan untuk lampu didukung oleh 120 V / 60 Hz atau 230 V / 60 Hz. Berkedip ditandai per fasa dengan parameter yang ditunjukkan pada layar meter. Trend terkait layar menunjukkan perubahan dalam semua nilai pengukuran di layar meter.

6. Unbalance

hubungan fase menampilkan ketidakseimbangan antara tegangan dan arus. Hasil pengukuran yang berdasarkan komponen frekuensi dasar (60 atau 50 Hz menggunakan metode komponen simetris). Dalam sistem listrik 3-phase, pergeseran fasa antara tegangan dan antara arus harus mendekati 120 °. modus ketidakseimbangan menawarkan layar Meter, sebuah terkait tampilan Trend, dan layar fasor.

7. Transients

Fluke 434/435 Analyzer dapat menangkap bentuk gelombang di beresolusi tinggi selama gangguan. Analyzer akan memberikan snapshot dari tegangan dan arus gelombang pada saat yang tepat dari gangguan. Hal ini memungkinkan Anda untuk melihat bentuk gelombang selama dips, membengkak, interupsi, membengkak saat ini dan transien. Transien paku cepat pada tegangan (atau arus) gelombang. Transien dapat memiliki begitu banyak energi yang peralatan elektronik yang sensitif dapat dipengaruhi atau bahkan rusak. Itu Layar transien terlihat mirip dengan Lingkup gelombang, tetapi rentang vertikal adalah diperbesar untuk membuat lonjakan tegangan terlihat yang ditumpangkan pada 60 atau 50 Hz gelombang sinus. Sebuah gelombang ditangkap setiap kali tegangan (atau rms saat) melebihi batas disesuaikan. Maksimal 40 peristiwa dapat ditangkap. Tingkat sampel adalah 200 KS / s.

8. Inrush

Arus inrush dapat ditangkap oleh Fluke 434/435. Arus inrush adalah arus lonjakan yang terjadi ketika beban besar, atau impedansi rendah datang on line. Biasanya saat menstabilkan setelah beberapa waktu ketika beban

mencapai kondisi kerja normal. Misalnya untuk start-up di motor induksi bisa sepuluh kali kerja normal arus. Arus masuk adalah 'satu tembakan' mode yang mencatat arus dan tegangan Tren setelah Acara saat ini (pelatuk) telah terjadi. Sebuah peristiwa terjadi ketika gelombang saat ini melebihi batas disesuaikan. Layar membangun dari kanan layar. Pretrigger Informasi memungkinkan Anda untuk melihat apa yang terjadi di muka dari arus masuk tersebut.

9. Mains Signaling

Signal Induk adalah fungsi yang tersedia di Fluke 435. Dalam Fluke 434 ini tersedia sebagai pilihan. sistem distribusi listrik sering membawa sinyal kontrol untuk beralih peralatan dan mematikan dari jarak jauh (juga dikenal sebagai kontrol riak). sinyal kontrol ini memiliki frekuensi yang lebih tinggi dari normal 50 atau 60 Hz frekuensi baris dan jangkauan hingga sekitar 3 kHz. Amplitudo secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan tegangan nominal. Kontrol Sinyal yang hadir hanya pada saat-saat yang alat jarak jauh harus dikendalikan. Dalam mode Signaling Mains 435 dapat menangkap terjadinya (tingkat sinyal) dari control sinyal dengan 2 frekuensi yang berbeda. Rentang frekuensi 70,0-3000,0 Hz untuk 60 Hz sistem dan 60,0-2500,0 Hz untuk 50 sistem Hz. Induk Signaling dimasukkan melalui Start a menu untuk memilih kedua frekuensi, dan untuk setiap frekuensi tegangan pemicu minimum dan threshold (hysteresis). tegangan pemicu dan ambang yang dapat disesuaikan sebagai persentase dari tegangan nominal. Waktu Signaling disesuaikan dan diwakili oleh 'penanda' di tampilan tren. Penanda adalah untuk pemeriksaan visual pada sinyal durasi. Juga Durasi pengukuran dan mulai Segera atau Jangka waktu yang dipilih. Hasil pengukuran disajikan dalam layar Trend dan dalam Acara Table.

10. Logger

Logger adalah fungsi yang tersedia di Fluke 435. Dalam Fluke 434 itu tersedia sebagai pilihan. Logger memberikan kemungkinan untuk menyimpan beberapa bacaan dengan resolusi tinggi. Pembacaan diamati

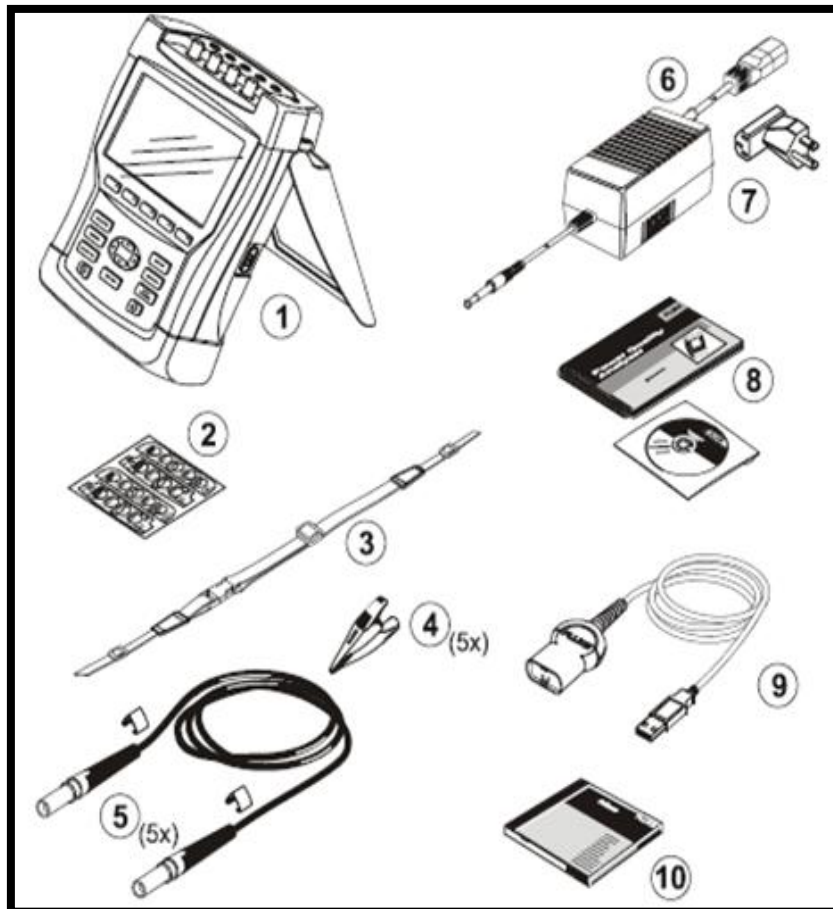
selama interval waktu disesuaikan. Pada akhir interval min, max, dan rata-rata nilai dari semua pembacaan disimpan dalam memori panjang dan berikutnya Interval pengamatan dimulai. Proses ini berlanjut untuk Durasi pengamatan periode. Alat analisis yang telah disediakan set bacaan yang dapat digunakan untuk logging dan yang dapat disesuaikan dengan seperangkat Anda sendiri bacaan. Anda mulai fungsi Logging dari Menu Utama. Ini dimulai dengan menu Start yang memungkinkan Anda untuk memilih Rata-rata waktu (0,5 s - 2 Jam), pembacaan untuk login, yang durasi log (1 Hr - Max) dan mulai Segera atau Jangka waktu penebangan. Pembacaan ditampilkan di layar Trend, layar Meter, dan Table Events.

11. Power Quality Monitoring

Power Quality Monitoring atau System Monitor menampilkan layar grafik Bar. layar ini menunjukkan apakah parameter Kualitas Daya penting memenuhi persyaratan. Parameter meliputi:

1. RMS tegangan
2. Harmonik
3. Flicker
4. Dips / Interupsi / Cepat Voltage Perubahan / membengkak (DIRS)
5. Ketidakseimbangan / Frekuensi / listrik Signaling.

BAGIAN-BAGIAN PERALATAN TERDIRI DARI :



Gambar 2.20 bagian-bagian peralatan

1. Power Quality Analyzer
2. Decal Set for Input Sockets
3. Hang Strap
4. Alligator Clips. Set of 5
5. Test Leads, 2.5 m. Set of 5
6. Battery Charger/Power Adapter
7. Line Plug Adapter (country dependent)
8. Getting Started Manual + CD ROM with Users Manual and Getting Started Manual (multilanguage)

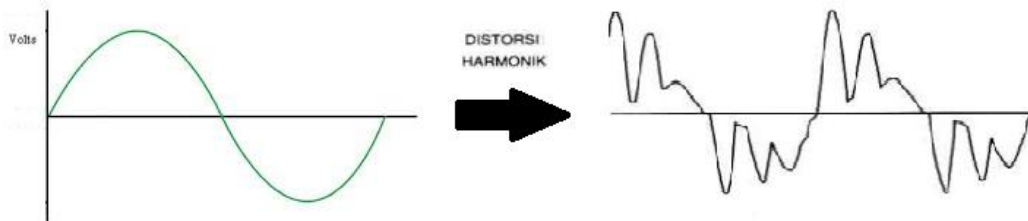
9. Optical Cable for USB



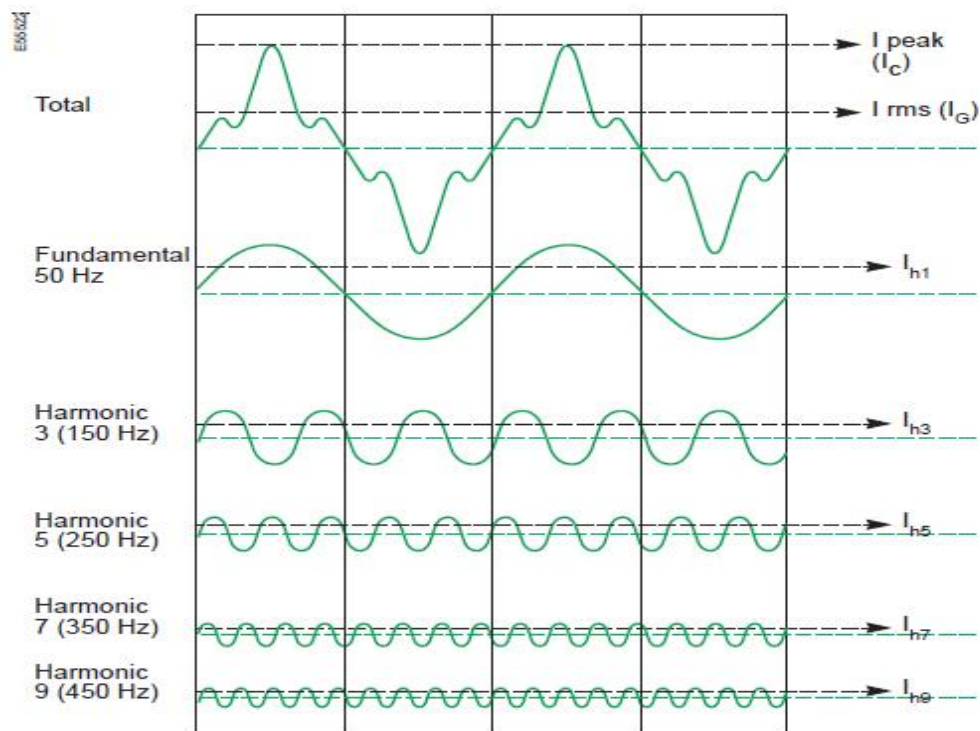
Gambar 2.21 Power Quality Analyzer

2.5 Harmonisa

Harmonisa adalah distorsi periodik dari gelombang sinus tegangan, arus atau daya dengan bentuk gelombang yang frekuensinya merupakan kelipatan diluar bilangan satu terhadap frekuensinya fundamental (frekuensi 50 Hz atau 60 Hz). Nilai frekuensi dari gelombang harmonisa yang terbentuk merupakan hasil kali antara frekuensi fundamental dengan bilangan harmonisanya (f , $2f$, $3f$, dst). Bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan penjumlahan dari gelombang fundamental dan gelombang harmonisa (h_1 , h_2 dan seterusnya) pada frekuensi kelipatannya. Semakin banyak gelombang harmonisa yang diikuti sertakan pada gelombang fundamental, maka gelombang akan semakin mendekati gelombang persegi atau gelombang akan semakin membentuk non sinusoidal. Dengan kata lain harmonisa merupakan suatu cacat gelombang sehingga perubahan bentuk gelombang akibat adanya komponen frekuensi tambahan.



Gambar 2.22 Gelombang Sinusoidal Murni dan Hasil Distorsi Harmonik



Gambar 2.23 Orde gelombang harmonisa

2.5.1 Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion (THD) merupakan ukuran dari nilai efektif suatu komponen harmonik dari gelombang yang terdistorsi. Atau untuk lebih jelasnya, THD merupakan jumlah perbandingan antara jumlah daya dari semua orde harmonik dengan daya pada frekuensi dasar (orde 1). THD dapat dibedakan

menjadi THD tegangan dan THD arus. Untuk THD tegangan, dapat dihitung

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1}$$

dengan rumus berikut.

dimana

V_n = Nilai tegangan harmonik (V)

V_1 = Nilai tegangan fundamental (V)

n = Komponen harmonik maksimum

Sedangkan untuk menghitung THD pada arus adalah sebagai berikut

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

dimana

I_n = Nilai arus harmonik (A)

I_1 = Nilai arus fundamental (A)

n = Komponen harmonik maksimum

2.5.2 Standar Harmonik

Terdapat standar internasional untuk besaran harmonik, yakni standar IEEE Std 519-1992

Tabel 1 Standar IEEE THD Arus.

Table 10.1. Current Distortion Limits (in % of I_L) for General Distribution Systems (120-69,000 V) [1]

I_{sc}/I_L	<11	$11 < h < 17$	$17 < h < 23$	$23 < h < 35$	$35 > h$	TDD
		7				
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Tabel 2 Standar IEEE THD Tegangan

Table 10.4. Voltage Distortion Limits (in % of V_1) [1]

PCC Voltage	Individual Harmonic Magnitude (%)	THD _V (%)
≤69 kV	3.0	5.0
69-161 kV	1.5	2.5
≥161 kV	1.0	1.5

Penjelasan istilah-istilah pada tabel antara lain:

PCC : Point of Common Coupling. Titik ini adalah titik antara penyedia layanan listrik dengan konsumen, dimana pada titik tersebut konsumen lain dapat disambungkan.

I_{SC} : Arus hubung singkat maksimum pada PCC

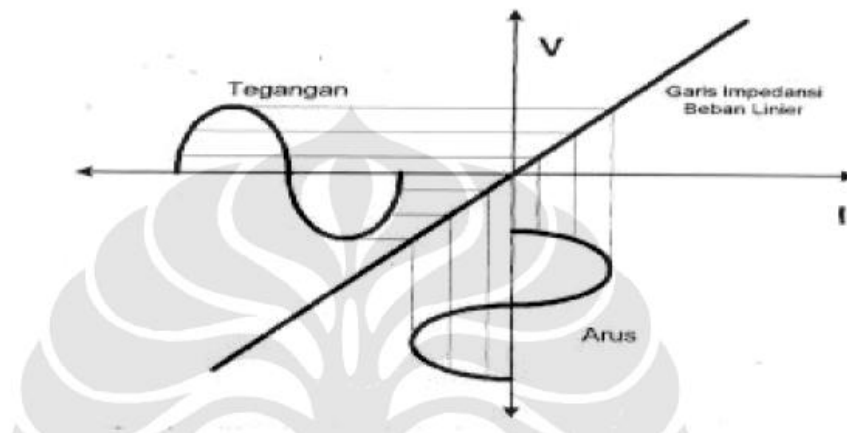
I_L : Arus *demand* maksimum (komponen frekuensi fundamental) pada PCC

2.6 Sumber - Sumber Harmonisa

Sumber yang dapat menghasilkan harmonisa adalah macam-macam beban nonlinear dan beban linear sebagai berikut antara lain, lampu hemat energi, aneka jenis peralatan elektronika daya, pengendalian kecepatan motor, resistor (R), pengendalian motor induksi, dan lain sebagainya yang sebagian besar bekerja dengan prinsip *switching* frekuensi tinggi.

2.6.1 Beban Linear

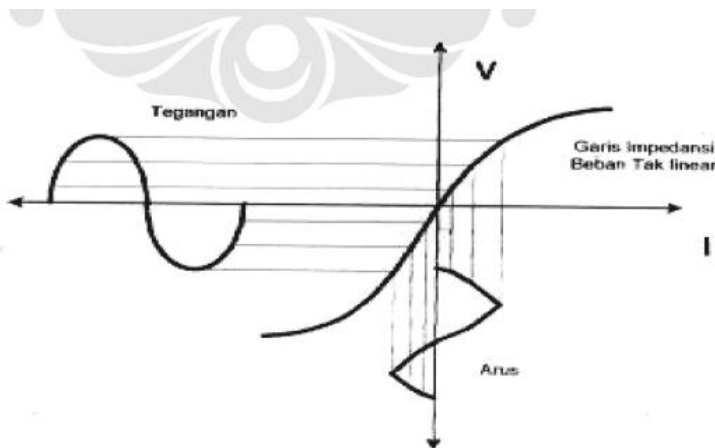
Beban linear memberikan bentuk gelombang keluaran artinya arus yang mengalir sebanding dengan perubahan tegangan.



Gambar 2.24 Gelombang arus beban linear

2.6.2 Beban non Linear

Beban nonlinear memberikan bentuk gelombang keluaran arus yang tidak sebanding dengan tegangan dasar sehingga gelombang arus dan tegangan tidak sama dengan dengan gelombang masukannya.



Gambar 2.25 Gelombang arus beban nonlinear

2.6.2.1 Penyearah

Sumber arus bolak-balik menjadi sinyal sumber arus searah. Gelombang bolak balik yang berbentuk gelombang sinus hanya dapat dilihat dengan alat ukur *CRO*. Rangkaian rectifier banyak menggunakan transformator *step down* yang digunakan untuk menurunkan tegangan sesuai dengan perbandingan transformasi.

2.6.2.2 Mesin- mesin listrik

Harmonisa dapat timbul oleh mesin-mesin listrik yang berputar baik motor maupun pada generator. Harmonisa yang terjadi pada mesin-mesin listrik terjadi karena adanya stator maupun slot rotor yang bentuknya tidak simetris atau ketidakseimbangan pada kumparan tiga fasa. dan karena mempunyai sifat kejenuhan magnetisasi sebagai akibat dari penggunaan tipe material magnetnya.

2.6.2.3 Lampu Hemat Energi

Pada dasarnya beban yang di pakai di suatu perusahaan pada umumnya adalah lampu untuk pencahayaan. Jenis lampu *fluorescent* merupakan jenis lampu yang banyak menjadi pilihan lampu untuk penghematan energi, lampu jenis ini menggunakan *ballast* sebagai penyediaan awal tegangan yang tinggi untuk aliran arus diantara dua elektroda pada tabung selain itu *ballast* berfungsi untuk membatasi arus yang mengalir pada lampu.

2.7 Pengaruh Harmonisa

Komponen-komponen sistem tenaga listrik yang dapat menimbulkan arus harmonisa hendaknya perlu diperhatikan, dengan tujuan untuk memprediksi permasalahan yang diakibatkan oleh harmonisa, sehingga sudah dapat diperkirakan cara yang tepat untuk menekan kehadiran harmonisa tersebut, baik dengan cara memasang filter, maupun mendesain peralatan-peralatan listrik agar dampak harmonisa yang ditimbulkan peralatan tersebut masih dibawah standar yang ditentukan. Secara khusus dampak yang ditimbulkan oleh harmonisa pada system tenaga listrik dapat dibagi menjadi 2 yaitu :

2.7.1 Efek jangka pendek

- a. Tegangan harmonic dapat mengganggu peralatan control yang digunakan pada system elektronik.
- b. Harmonic dapat menyebabkan kesalahan pada peralatan pengukuran listrik yang menggunakan prinsip induksi magnet.

- c. Harmonic juga dapat mengganggu alat-alat pengaman dalam system tenaga listrik seperti relay.
- d. Pada mesin-mesin berputar seperti generator dan motor, torsi mekanik yang diakibatkan oleh harmonic aka menimbulkan getaran dan suara bising pada mesin tersebut.
- e. Bila ada system komunikasi yang dekat dengan system tenaga listrik maka system tersebut dapat terganggu oleh harmonic

2.7.2 Efek jangka panjang

- a. Pemanasan pada kapasitor bank.
- b. Pemanasan pada mesin-mesin listrik :Tegangan non-sinusoidal yang diterapkan pada mesin listrik dapat menimbulkan masalah-masalah sebagai berikut : meningkatnya rugi inti belitan serta pemanasan yang berlebih.
- c. Pemanasan pada transformator. Transformator dirancang sesuai dengan frekuensi kerjanya. Frekuensi harmonic yang lebih tinggi dari frekuensi kerjanya akan mengakibatkan kerugian daya. Pengaruh utama harmonic pada transformator adalah :
 - 1. Panas lebih yang di bangkitkan oleh arus beban yang mengandung harmonic.
 - 2. Kemungkinan resonansi paralel transformator dengan kapasitas system.
- d. Pemanasan pada kabel dan peralatan lainnya: rugi-rugi kabel yang dilewati oleh arus harmonic akan semakin besar. Hal ini disebabkan meningkatnya resistansi dari tembaga akibat meningkatnya frekuensi.

frekuensi dari tegangan harmonisa tersebut pada kumparan. Rugi histerisis akan mengalami kenaikan karena kenaikan frekuensi.

2.8 Efek Distorsi Harmonik pada System Tenaga Listrik

Meningkatnya penggunaan non-linear dan beban yang menyebabkan peningkatan masalah distorsi harmonik dalam sistem tenaga. Bab ini bertujuan

untuk mengukur pengaruh distorsi harmonik pada perlengkapan sistem tenaga dan beban. Dampak terhadap kapasitor bank, transformator dan mesin berputar.

Pengaruh distorsi tegangan dibagi menjadi tiga kategori umum:

1. Termal stress
2. Kerugian Isolasi
3. Gangguan pada Beban

Harmonisa memiliki efek meningkatkan kerugian peralatan dan tegangan termal. tegangan puncak meningkat dengan harmonik; peningkatan tegangan ini mengabaikan sudut fasa, yang sama dengan faktor puncak tegangan. Hal ini menyebabkan peningkatan tegangan atau isolasi stres kadang-kadang berakhir dengan kerusakan isolasi kabel. Gangguan pada beban secara luas didefinisikan sebagai kegagalan perangkat atau operasi abnormal disebabkan oleh distorsi tegangan.

2.8.2 Kerugian Termal dalam Lingkungan Harmonic

Harmonic memiliki pengaruh meningkatnya rugi tembaga, besi dan kerugian dielektrik, tegangan termal. penilaian peralatan adalah persyaratan pencegahan kasus ini. Namun, hal itu dirasakan bahwa ini mungkin tidak bekerja karena persentase tertentu akan hilang setelah beberapa periode.

2.8.3 Harmonisa Pada Transformator

Transformator dirancang untuk menyalurkan daya yang dibutuhkan ke beban dengan rugi-rugi minimum pada frekuensi fundamentalnya. Arus harmonisa dan tegangan secara signifikan akan menyebabkan panas lebih. Ada 2 pengaruh yang menimbulkan panas lebih pada transformator ketika arus beban mengandung komponen harmonisa:

- a. Harmonisa arus menyebabkan meningkatnya rugi-rugi tembaga.
- b. Harmonisa tegangan menyebabkan meningkatnya rugi-rugi besi, seperti *eddy current* dan rugi-rugi *hysteresis*. *Eddy current* terjadi bila inti dari sebuah material jenis ferromagnetik (besi) secara elektrik bersifat konduktif. Konsentrasi *Eddy current* lebih tinggi pada ujung-ujung

belitan transformator karena efek kerapatan medan magnet bocor pada kumparan yang menyebabkan fenomena terjadinya arus pusar (arus yang bergerak melingkar). Bertambahnya rugi-rugi *Eddy current* karena harmonisa berpengaruh pada temperatur kerja transformator yang terlihat pada besar rugi-rugi daya nyata (Watt) akibat *Eddy current* ini.

2.8.4 Kerugian Besi (inti)

kerugian besi adalah mengambil dalam inti besi yang sedang magnet oleh eksitasi diterapkan atau berputar atau berotasi dalam medan magnet. Kerugian ini terdiri dari kerugian hysteresis dan kerugian arus eddy saat ini dan menghasilkan pengurangan efisiensi dan meningkatkan suhu inti sehingga membatasi output.

kerugian histeresis disebabkan karena pembalikan magnetisasi dari inti besi, tergantung volume dan kualitas magnetisasi inti besi, pada volume dan kualitas bahan magnetik yang digunakan, nilai maksimum kerapatan fluks dan frekuensi arus listrik. Untuk kepadatan fluks normal hingga $1,5 \text{ Wb} / \text{m}^2$, yang hysteresis kerugian frekuensi dasar.

2.8.5 Kerugian Dielektrik (isolasi)

Kerugian dielektrik dalam kapasitor atau kerugian isolasi dalam kabel, dan penambahan rugi-rugi di jaringan, distorsi bentuk tegangan dan meningkatkan Dielectric Stress pada kabel sehingga dapat memperpendek umur kabel.

2.8.6 Efek harmonik pada peralatan sistem tenaga

Hasil Harmonic peningkatan kerugian dan perlengkapan. Triplen harmonik di netral membawa arus yang mungkin sama atau melebihi arus fase bahkan jika beban yang seimbang. Ini menentukan penilaian kawat netral terlalu besar. Selain itu, harmonik menyebabkan resonansi yang mungkin dapat merusak peralatan. Harmonik lanjut dapat mengganggu relay proteksi, perangkat pengukuran, kontrol dan jaringan komunikasi, dan peralatan elektronik konsumen. peralatan yang sensitif akan mengalami kesalahan operasi atau kegagalan komponen.

Bagian berikut mendeteksi untuk meninjau dan membahas dampak harmonik pada peralatan sistem tenaga dan beban, memberikan analisis kuantitatif bila memungkinkan.

2.8.6.1 Capacitor bank

Harmonic efek kapasitor bank dengan cara sebagai berikut:

1. Kelebihan beban oleh arus harmonik, bahwa reaktansi menurun dengan frekuensi membuat arus bertindak sebagai sink untuk harmonik. Juga, tegangan harmonik menghasilkan arus yang besar menyebabkan kegagalan kapasitor .
2. Harmonic cenderung meningkatkan kerugian dielektrik. pemanasan tambahan dan memperpendek umur.
3. Capacitor menggabungkan dengan sumber induktansi untuk membentuk sebuah rangkaian resonansi paralel. harmonik diperkuat. Tegangan yang dihasilkan sangat melebihi rating tegangan dan konsekuensinya adalah kerusakan kapasitor atau pemutusan sekering.
4. Pada Kapasitor Bank menyebabkan : terjadinya resonansi (seri dan paralel) dengan Kapasitor Bank yang dapat berdampak pada beban lebih dan kegagalan pada Kapasitor Bank, penambahan thermal stress pada isolasi yang berdampak mengurangi umur Kapasitor Bank serta menambah rugi-rugi dielektrik akibat distorsi tegangan.

2.8.6.2 Mesin berputar

1. kerugian tembaga dan besi meningkat mengakibatkan pemanasan.
2. Getaran torsi disebabkan karena interaksi medan magnet harmonik dasar. Hal ini menjadikan kebisingan suara yang lebih tinggi.
3. Menyebabkan tambahan thermal stress pada motor-motor listrik yang berdampak pada pengurangan umur isolasi motor.
4. pada mesin-mesin listrik terjadi karena adanya stator maupun slot rotor yang bentuknya tidak simetris atau ketidakseimbangan pada kumparan tiga

fasa. dan karena mempunyai sifat kejenuhan magnetisasi sebagai akibat dari penggunaan tipe material magnetnya.

2.8.7 Proteksi, komunikasi dan peralatan elektronik

Efek Harmonik pada proteksi dan peralatan kontrol, perangkat pengukuran, jaringan komunikasi dan beban elektronik dengan cara sebagai berikut:

1. Harmonik mempengaruhi kemampuan gangguan sirkuit breaker.
2. Relay yang beroperasi diatur oleh tegangan / arus puncak atau tegangan nol dipengaruhi oleh harmonik. Karakteristik delay waktu pada relay elektromekanis dan arus harmonik ketiga yang mengakibatkan gangguan.
3. Pengukuran dan perangkat instrumentasi menunjukkan respon yang berbeda untuk sinyal nonsinusoidal sehingga Pengukuran energi cenderung tidak akurat pada kWh-meter mekanik (tipe fluksi).
4. Harmonik mengakibatkan gangguan jaringan telepon melalui kopling induktif.
5. Harmonik mengganggu pengoperasian peralatan elektronik dan sirkuit kontrol.
6. Harmonik mengganggu beban pada pelanggan.
7. Harmonik memperpendek umur lampu pijar.

2.9 Resonansi

Dalam sebuah system tenaga, masalah resonansi paling signifikan disebabkan oleh besar kapasitor yang dipasang untuk factor daya. Perpindahan koreksi atau tujuan regulasi tegangan. Frekuensi resonansi system reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif sering terjadi di dekat harmonic kelima (250 Hz). Namun masalah resonansi terjadi di sebelas atau tigabelas orde harmonic yang tidak biasa. Ada dua jenis resonansi mungkin terjadi dalam system : resonansi seri dan resonansi parallel. Resonansi seri adalah impedansi rendah terhadap

aliran arus harmonic. Dan resonansi parallel adalah impedansi tinggi terhadap aliran arus.

2.9.1 Resonansi seri

Pada pemasangan kapasitor bank secara seri dengan system dan menciptakan reaktansi impedansi yang rendah menuju harmonisa arus, seragkaian kondisi resonansi dapat mengakibatkan tingkat distorsi tegangan tinggi antara induktansi dan kapasitor dalam rangkaian, karena arus harmonic terkonsentrasi di jalur impedansi rendah. Resonansi seri kapasitor sering menyebabkan kegagalan karena sekring overload.

2.9.2 Resonansi parallel

Resonansi parallel terjadi ketika reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif parallel dari system yang sama pada frekuensi tertentu, dan kombinasi parallel tampak impedansi yang sangat besar untuk sumber harmonic.

2.10 Filter harmonic

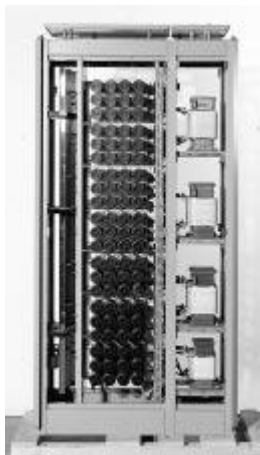
Tujuan utama pemasangan filter harmonic adalah untuk mereduksi amplitude frekuensi tertentu dari suatu tegangan dan arus. dengan pemasangan filter harmonic pada system tenaga listrik yang mengandung sumber-sumber harmonic maka penyebaran harmonic ke system yang lebih besar dapat di reduksi sekecil mungkin. Secara umum filter harmonic pada system tenaga listrik dibedakan menjadi dua macam yaitu filter aktif dan filter pasif.

2.10.1 Filter pasif

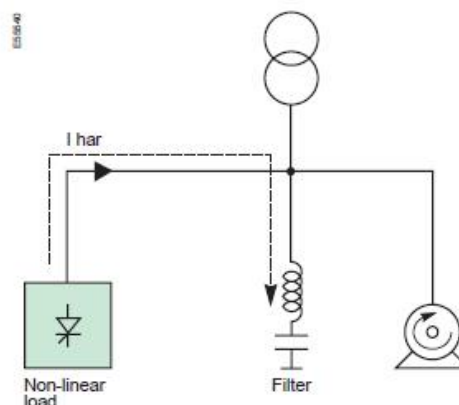
Filter pasif sebagian besar didesain untuk memberikan bagian khusus untuk mengalihkan arus harmonic yang tidak diinginkan dalam system tenaga listrik filter pasif berfungsi untuk mengurangi amplitude satu atau lebih frekuensi tertentu dari sebuah tegangan atau arus.

2.10.2 Prinsip Kerja Filter Pasif

dengan cara menyediakan jalur rendah impedansinya pada frekuensi-frekuensi harmonisa. Komponen utama yang terdapat pada filter pasif adalah kapasitor (C) dan inductor (L) . Kapasitor dihubungkan seri atau parallel untuk memperoleh sebuah total rating tegangan dan KVAR yang diinginkan, sedangkan inductor digunakan dalam rangkaian filter dirancang mampu menahan selubung frekuensi tinggi yaitu efek kulit (skin effect). Pemasangan filter pasif biasanya di letakan di dekat daya listrik hal ini di maksudkan untuk mencegah harmonic menuju sumber. Filter pasif seri memiliki karakteristik sebagai resonansi paralel dan merupakan tipe filter yang bersifat sebagai penghalang yang memiliki impedansi tinggi pada frekuensi tertentu. Sebagai contohnya adalah penggunaan komponen penghalus atau perata gelombang pada peralatan elektronika daya.



Gambar 2.26 Filter Pasif



Gambar 2.27 Skema Pemasangan

Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam merancang Filter LC adalah sebagai berikut :

- a. Menghitung Nilai Kapasitor (C)

Tentukan ukuran kapasitas kapasitor Q_c berdasarkan kebutuhan daya reaktif untuk perbaikan faktor daya. Daya reaktif kapasitor (Q_c) adalah

$$Q_C = P \{ \tan(\cos^{-1} pf_1) - \tan(\cos^{-1} pf_2) \}$$

Di mana:

P : daya aktif (kW).

pf_1 : faktor daya mula-mula sebelum diperbaiki.

Pf_2 : faktor daya kompensasi.

b. Menentukan Reaktansi kapasitor (X_C):

$$X_C = \frac{V^2}{Q_C}$$

Di mana:

X_C : Reaktansi kapasitif ().

V : Tegangan RMS (Volt).

Q_C : Daya reaktif kapasitor (VAR)

c. Sedangkan kapasitansi kapasitor (C) dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$C = \frac{1}{2 \pi f X_C}$$

Di mana:

C : Kapasitansi kapasitor (Farad)

$\omega = 2 \pi f$: Frekuensi fundamental (Hz).

X_C : Reaktansi kapasitif ()

d. Setelah menetapkan nilai kapasitor kemudian menetapkan nilai dari reaktansi inductor (X_L) yang akan digunakan sebagai filter pasif.

$$X_L = \frac{X_C}{n^2}$$

Di mana:

X_C : Reaktansi kapasitif ()

n : Orde harmonik yang akan difilter (disetel sedikit dibawah ordenya).

e. Nilai induktansi inductor (L) dihitung dengan menggunakan persamaan

$$L = \frac{X_L}{2 \pi f}$$

Di mana:

X_L : Reaktansi inductor

$\omega = 2 \pi f$: Frekuensi fundamental (Hz).

2.11.1 Filter aktif harmonik

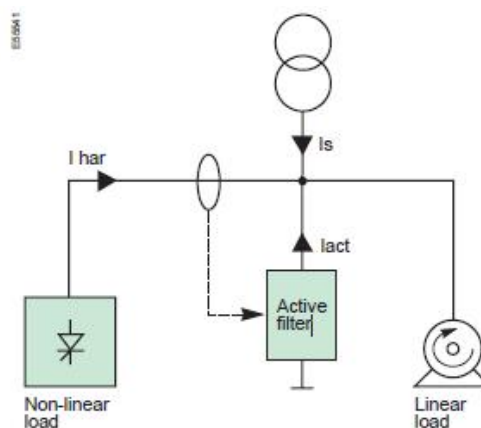
Filter aktif adalah suatu perangkat elektronik yang dapat memperbaiki kualitas daya yang dikirimkan dari sumber ke beban. Filter aktif. Di system tenaga listrik lebih fleksibel daripada filter pasif karena dari segi penggunaan dan unjuk kerja filter aktif lebih ekonomis.

2.11.2 Prinsip Kerja Filter Aktif

filter aktif adalah sistem yang menggunakan elektronika daya, dipasang secara seri atau paralel dengan beban non-linear. Filter aktif bekerja dengan cara memfilter arus harmonisa dengan menghasilkan arus filter kompensasi (i_{filter}) yang berbanding secara terbalik arus harmonisa beban (i_{beban}). Saat fasa arus filter aktif shunt dan fasa arus beban mempunyai fasa yang sama ataupun fasanya berlawanan pada frekwensi harmonisa maka kedua fasa akan saling meniadakan sehingga jumlah vektor arus menjadi nol pada suplai arus (i_{suplai}) di *Point of Common Coupling* (PCC) sehingga arus suplai mendekati *sinusoidal*



Gambar 2.28 Filter Aktif



Gambar 2.29 Skema Pemasangan Filter Aktif

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari

Alat :

1. Notebook acer *aspire one 722*.
2. Flashdisk 8 GB
3. Hardisk 1 TB
4. Alat ukur *Power Quality and Energy Analyzer Fluke series-435*.

Bahan :

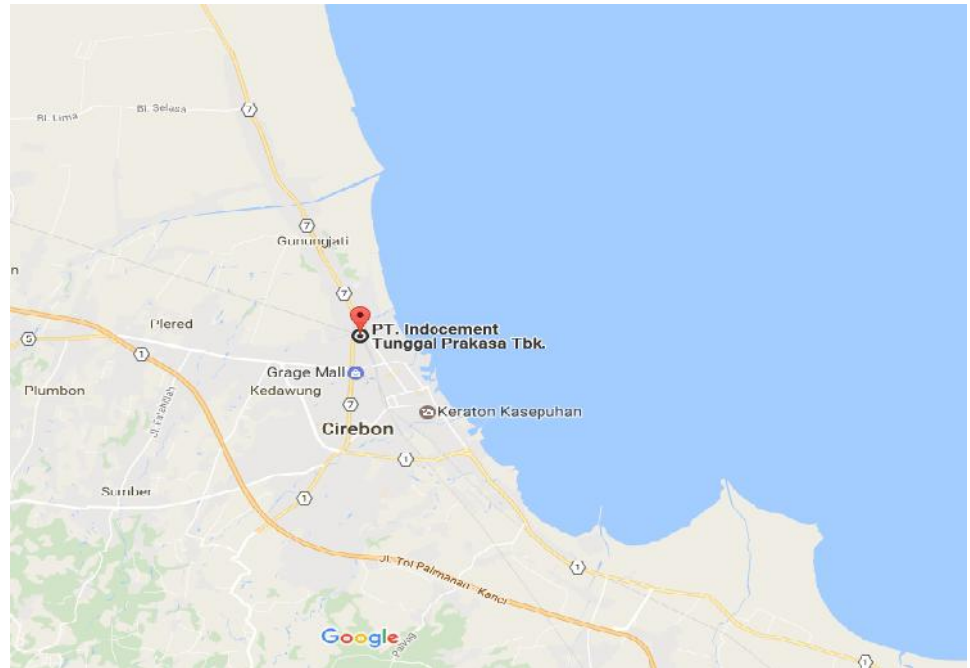
1. *microsoft office 2007*.
2. Software *Power Log* sebagai *interface* alat ukur.

3.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian untuk tugas akhir ini dilakukan mulai dari 1 Juli 2016, sampai dengan 10 maret 2017.

3.3 Tempat Penelitian

Adapun lokasi yang dipilih sebagai dasar dalam perencanaan dilakukan di PT.Indocement Tunggal Prakarsa Tbk yang beralamat di Jalan Raya Palimanan KM 20 (Cirebon) Palimanan, Cirebon Palimanan Cirebon.



Gambar 3.1 Peta lokasi PT.Indocement Tunggal Prakarsa Tbk Cirebon-Palimanan

3.4 Langkah – Langkah Penelitian

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas maka dibawah ini diberikan penjelasan yang lebih menyeluruh dari setiap langkah – langkah penelitian tugas akhir ini.

1. Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan adalah tahap awal dalam metodologi penulisan. Pada tahap ini dilakukan studi lapangan dengan mengamati langsung keadaan pabrik PT.Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Pengamatan langsung dilakukan dengan tujuan mengetahui informasi-informasi awal mengenai motor induksi 3-fasa RAW MILL SS E3 di lingkungan pabrik PT.Indocement Tunggal Prakarsa Tbk.

2. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Setelah dilakukan studi pendahuluan, permasalahan pada area pabrik PT.Indocement Tunggul Prakarsa. Tbk. Sudah dapat diidentifikasi, kemudian penyebab dari permasalahan sudah ditelusuri. Dalam menelusuri akar penyebab permasalahan dilakukan melalui pengamatan secara langsung di lapangan, dengan melakukan pengukuran langsung dan wawancara dengan teknisi yang menangani bagian kelistrikan di wilayah pabrik PT.Indocement Tunggul Prakarsa.

Dalam tugas akhir ini, permasalahan yang diangkat adalah menganalisa harmonisa yang diakibatkan oleh motor induksi 3-fasa PLANT 10 RAW MILL SS E3. Maka dari itu perlu dilakukan studi kasus dan mengumpulkan data-data yang dibutuhkan untuk menunjang penelitian dalam tugas akhir ini.

3. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk mencari informasi-informasi tentang teori, metode, dan konsep yang relevan dengan permasalahan. Sehingga dengan informasi-informasi tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam menyelesaikan permasalahan. Studi pustakan yang dilakukan dengan mencari informasi dan referensi dalam bentuk *text book*, informasi dari internet, maupun sumber-sumber lainnya yang terpercaya.

4. Pengumpulan Data

Jenis data pada penelitian ini ada 2 (dua) macam, yaitu data primer dan data skunder.

a. Data Primer

Pengumpulan data ini dilakukan dengan cara pengamatan langsung pada area pabrik PT.Indocement Tunggul Prakarsa Tbk. Dan wawancara dengan teknisi terkait dan melakukan pengukuran harmonisa pada motor induksi 3-fasa RAW MILL SS E3 dengan menggunakan alat *Power Quality and Energy Analyzer*.

Berikut data primer yang didapat dari hasil pengukuran harmonisa pada motor induksi 3-fasa:

- 1 Tegangan dan Arus Fundamental.
- 2 Frekuensi.
- 3 Tegangan dan Arus
- 4 Tegangan dan Arus Harmonik.
- 5 THD (*Total Harmonic Distortion*) Tegangan dan Arus.
- 6 Cos Phi Tegangan dan Arus.
- 7 K-factor Arus.

b. Data Skunder

Pengambilan data dilakukan secara langsung di PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Tujuan dari pengambilan data ini adalah untuk memperoleh data – data yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir Berikut ini data – data yang didapat sebagai dokumentasi :

1. Spesifikasi motor induksi 3-fasa RAW MILL SS E3 PLANT 10.
2. *Single line diagram* plant 10 PT.Indocement Tunggal Prakarsa Tbk.

5. Pengolahan Data

Berdasarkan dari data-data yang telah diperoleh kemudian hasilnya akan diolah dalam bentuk table dan grafik.

6. Analisi Data

Berdasarkan dari data-data yang diperoleh dalam penelitian ini, akan dilakukan analisis untuk membandingkan dengan standar harmonisa yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini. Standar harmonisa yang digunakan adalah IEEE std 519-1992. Dan menghitung didasarkan L dan C pada *filter pasif (single tuned)* untuk meredam harmonisa yang timbul akibat motor induksi 3-fasa.

7. Kesimpulan

Setelah analisa dilakukan dengan baik dan benar selanjutnya menarik kesimpulan dari analisa yang diperoleh.

8. Penulisan Tugas Akhir

Setelah selesai melakukan pengolahan data dan analisis data maka langkah berikutnya adalah menyusun tugas akhir sesuai dengan sistematika yang baku.

3.5 Jadwal Penelitian Tugas Akhir

Tabel 3 Jadwal Penelitian Tugas Akhir

No	Kegiatan	Bulan																																			
		Juli 2016				Agustus 2016				Sep-16				Oktober 2016				Nov-16				Desember 2016				Januari 2017				Februari 2017				Maret 2017			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1	Pengambilan Data	█	█	█	█	█	█	█	█																												
2	Pengolahan Data					█	█	█	█	█	█	█	█																								
3	BAB I dan Revisi													█	█	█	█																				
4	BAB II dan Revisi																	█	█	█	█																
5	BAB III dan Revisi																					█	█	█	█												
6	BAB IV dan Revisi																									█	█	█	█								
7	BAB V dan Revisi																													█	█	█	█				
8	Persiapan Pendaran																													█	█	█	█				

DAFTAR PUSTAKA

1. Ali Kasim.2013. Pengaruh Harmonisa Motor Induksi Belitan Slip Recorvery. Jurnal Teknik Elektro vol.3, no.5. Agustus 2013 : 263-247.
2. Arung, Kukuh.2014. Analisa Daya dan Filter Harmonik Orde 5 di Pabrik Wire ROD MILL PT.Krakatau Steel (Persero) TBK. UGM.Laporan Kerja Praktik.Yogyakarta.
3. Bramantya Ribandono.2015. Analisa Pengaruh Distorsi Harmonik Total terhadap efisiensi Motor Induksi.Skripsi.Yogyakarta.
4. Faizal Harits.2015. Metode Mitigasi Tegangan Kedip Dan Harmonik Dengan Menggunakan *Ac-Ac Converter*.Universitas Indonesia.Laporan Kerja Praktik.Depok.
5. George J.Wakileh.2001.Power System Harmonics.Spinger.Verlag Berlin Heidelberg New York.
6. Iskandar Zulkarnain. 2009. Analisis Pengaruh harmonisa Terhadap Arus Netral, Rugi-rugi dan Penurunan Kapasitas pada Transformator Distribusi.Teknik Elektro Universitas Diponogoro.Semarang.
7. Maharani Putri, dkk. 2014. Analisis Reduksi Harmonisa Pada Variable Speed Drive Menggunakan Filter Lc Dengan Beban Motor Induksi Tiga Fasa. Teknik Elektro USU. Sumatra Utara.
8. Merlin, Gerin.dkk.1999.Harmonic *detection* and *filtering*. Schneider Electric Industries SA.USA.
9. Purnama, Agus. 2012 “Definisi Dan Karakteristik Motor Listrik Induksi”. <http://www.elektronika-dasar.web.id/definisi-dan-karakteristik-motor-listrik-induksi/>. (diakses 22 Juli 2016).
10. Saputra,Bayu.2012.“MotorInduksi”.[http://www.bayu93saputra.blogspot.co.id/2012/10/motor-induksi.html? m=1](http://www.bayu93saputra.blogspot.co.id/2012/10/motor-induksi.html?m=1). (diakses 22 Juli 2016)
11. Zuhail.1997.Dasar Tenaga Listrik.Bandung: ITB,1991.

