

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Untuk membantu pembuatan Proyek Akhir ini, dibutuhkan adanya beberapa materi referensi yang dapat menjadi acuan penulis dalam melakukan penelitian.

1. Afri, Khairul 2018, dalam project assignment di PT.INDONESIA POWER yang berjudul **MODIFIKASI MOTOR MAIN WATER SUPPLY PUMP DENGAN INVERTER SEBAGAI SOFT STARTER MOTOR DAN EFISIENSI DAYA PEMAKAIAN SENDIRIPLTA SAGULING.**

Motor MWSP merupakan jenis motor induksil yang memiliki peranan penting dalam berjalanya system pendingin pada PLTA Saguling, dimana motor ini bekerja secara terus menerus ketika unit pembangkit beroperasi dan berhenti saat unit pembangkit dalam keadaan standby. Akibat dari system kendali motor secara konvensional yang terbatas pada pengendalian pada saat start saja yang hanya mampu menekan arus mula tanpa memperhatikan system pengendalian yang professional dengan memperhatikan pemanfaatan daya pada saat motor berjalan. Sistem pengendalian ini menyebabkan konsumsi energi listrik tidak efisien, hasil produksi tidak fleksibel, dan sangat memungkinkan mudah rusaknya motor listrik karena selalu dipaksa bekerja pada kecepatan maksimal. Mengatasi permasalahan tersebut dalam perancangan konsep *project assignment* ini menawarkan perbaikan kualitas daya dan factor daya dan sekaligus mampu mengendalikan motor baik pada saat start maupun pada saat motor berjalan serta stop yaitu dengan penambahan Inverter. Dengan menggunakan inverter maka akan memperoleh banyak keuntungan yang lebih bila dibandingkan dengan cara-cara yang lain. Seperti

jangkauan yang luas untuk pengaturan kecepatan dan torsi motor, mempunyai akselerasi dan deselerasi yang dapat diatur, mempermudah proses monitoring/pengecekan, sistem proteksi motor yang baik, mengurangi arus starting motor dan menghemat pemakaian energi listrik, memperhalus start awal motor.

Kata kunci : *Modifikasi Main Water Supply Pump dengan Inverter sebagai Soft Starter Motor dan Efisiensi Daya*

2. Sirait, David H. 2008, dalam tugas akhir di universitas Sumatra Utara yang berjudul **ANALISA STARTING MOTOR INDUKSI TIGA PHASA PADA PT. BERLIAN UNGGAS SAKTI.**

Penggunaan motor induksi didalam suatu sistem kelistrikan pembangkit listrik sangat dibutuhkan dimana kegunaan dari motor induksi adalah sebagai penggerak. Kendala dari penggunaan motor induksi adalah pada saat starting. Hal tersebut dikarenakan arus starting yang terjadi pada motor induksi sangat besar. Untuk mengatasinya diperlukannya starter agar nantinya tidak merusak peralatan dan mengganggu sistem kelistrikan. Motor yang akan di analisa adalah motor Hammer Mill dengan kapasitas 95 Kw atau 125 Kw. Metode starting yang digunakan pada motor tersebut adalah dengan pengasutan *Direct On Line*.

2.2. Landasan Teori

2.2.1 Pengertian Pompa

Pompa adalah mesin atau peralatan mekanis yang digunakan untuk menaikkan cairan atau fluida dari tempat yang rendah ke tempat yang tinggi atau untuk mengalirkan cairan dari tempat yang bertekanan rendah ke tempat yang bertekanan tinggi dan juga sebagai penguat laju aliran pada suatu sistem jaringan perpipaan.

Pada prinsipnya, pompa mengubah energi mekanik putaran pompa menjadi energi aliran fluida. Energi yang diterima oleh fluida akan digunakan untuk menaikkan tekanan dan mengatasi hambatan yang terdapat pada saluran yang dilalui.

Pompa pada *Power House* PLTA Saguling digunakan untuk memindahkan fluida berupa air sebagai pencegah banjir di base 5 *Power House* PLTA Saguling.



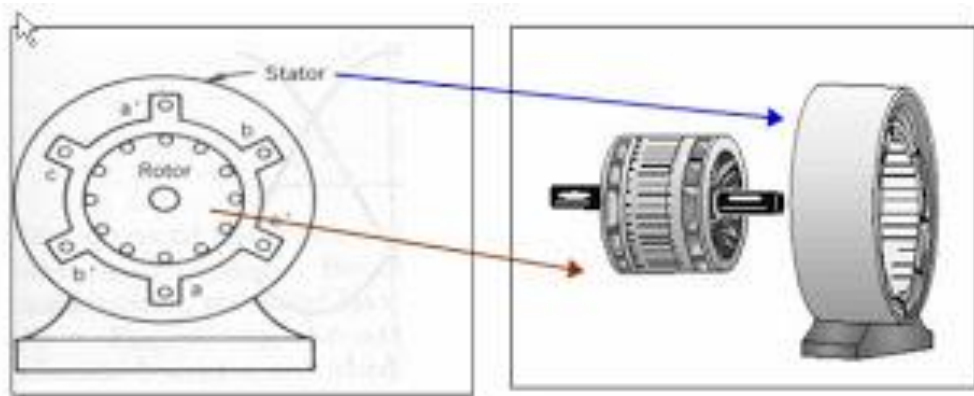
Gambar 2.1 Motor listrik di kopel dengan pompa

2.2.2 Motor Induksi

Motor dalam dunia kelistrikan adalah mesin yang digunakan untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Salah satu motor listrik yang umum digunakan dalam banyak aplikasi ialah motor induksi. Motor induksi merupakan salah satu mesin asinkronous (*asynchronous motor*) karena mesin ini beroperasi pada kecepatan di bawah kecepatan sinkron. Kecepatan sinkron sendiri ialah kecepatan rotasi medan magnetik pada mesin. Kecepatan sinkron ini dipengaruhi oleh frekuensi mesin dan banyaknya kutub pada mesin. Motor induksi selalu berputar dibawah kecepatan sinkron karena medan magnet yang terbangkitkan pada stator akan menghasilkan fluks pada rotor sehingga rotor tersebut dapat berputar. Namun fluks yang terbangkitkan pada rotor mengalami lagging dibandingkan fluks yang terbangkitkan pada stator sehingga kecepatan rotor tidak akan secepat kecepatan putaran medan magnet. Berdasarkan

suplai input yang digunakan terdapat 2 jenis motor induksi, yaitu motor induksi 1 fasa dan motor induksi 3 fasa.

Sebagaimana mesin pada umumnya menunjukkan bahwa motor induksi juga memiliki konstruksi yang sama baik motor DC maupun AC. Konstruksi dimaksud terdiri dari 2 bagian utama yaitu stator dan rotor. Secara lengkap dan detail dari kedua konstruksi dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.



Gambar 2.2 Komponen Motor Induksi



Gambar 2.3 Konstruksi utama Stator dan Rotor

1. Stator

Stator pada motor induksi adalah sama dengan yang dimiliki oleh motor sinkron dan generator sinkron. Konstruksi stator terbuat dari laminasi-laminasi dari bahan besi silikon dengan ketebalan (4 s/d 5) mm

dengan dibuat alur sebagai tempat meletakkan belitan/kumparan, secara detail ditunjukkan pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Konstruksi Stator dengan Alur-alurnya

Dalam alur-alur stator diletakkan belitan stator yang posisinya saling berbeda satu dengan lainnya, sesuai dengan fase derajat listrik yaitu 120° antar fase (motor 3 fase). Jumlah gulungan pada stator dibuat sesuai dengan jumlah kutub dan jumlah putaran yang diinginkan atau ditentukan. Khusus untuk Stator pada motor-motor listrik dengan ukuran kecil dibentuk dalam potongan utuh. Sedangkan untuk motor-motor dengan ukuran besar adalah tersusun dari sejumlah besar segmen-segmen laminasi.

2. Rotor

Ini adalah bagian yang berputar dari motor. Seperti dengan stator atas, rotor terdiri dari satu set laminasi baja beralur ditekan bersama dalam bentuk jalur magnetik silinder dan sirkuit listrik. Rangkaian listrik dari rotor dapat berupa :

Menurut jenis rotor pada motor induksi dibagi menjadi 2 (dua) bagian, yaitu:

a. Rotor Sangkar Tupai (*Squirrel Cage Rotor*)

Rotor yang terdiri dari sejumlah lilitan yang berbentuk Batang tembaga yang dihubungkan singkat pada setiap ujungnya

kemudian disatukan (di cor) menjadi satu kesatuan sebagaimana gambar 2.6.



Gambar 2.5 Rotor Sangkar Tupai

Jenis rotor sangkar tupai, yang terdiri dari satu set tembaga atau potongan aluminium yang dipasang ke dalam slot, yang terhubung ke sebuah akhir-cincin pada setiap akhir rotor. Konstruksi gulungan rotor ini menyerupai 'kandang tupai'. Potongan aluminium rotor biasanya dicor mati ke dalam slot rotor, yang membuat konstruksinya sangat kasar. Meskipun potongan rotor aluminium berada dalam kontak langsung dengan laminasi baja, hampir semua arus rotor melalui jeruji aluminium dan tidak di laminasi. Sejumlah motor induksi yang beredar dipasaran maupun yang banyak digunakan sekitar 90% adalah motor induksi dengan "Rotor Sangkar". Alasan umum yang diperoleh adalah karena konstruksi yang sederhana dan juga lebih murah harganya. Konstruksi rotor sebagaimana gambar 2.7. berikut ini, menunjukkan konstruksi batang-batang konduktor dari bahan tembaga atau aluminium yang dihubungkan singkat.

Sejumlah batang-batang konduktor tersebut dimasukkan ke dalam laminasi-laminasi yang terbuat dari bahan besi silikon serta menjadi satu dengan poros rotor. Sebagaimana konstruksi

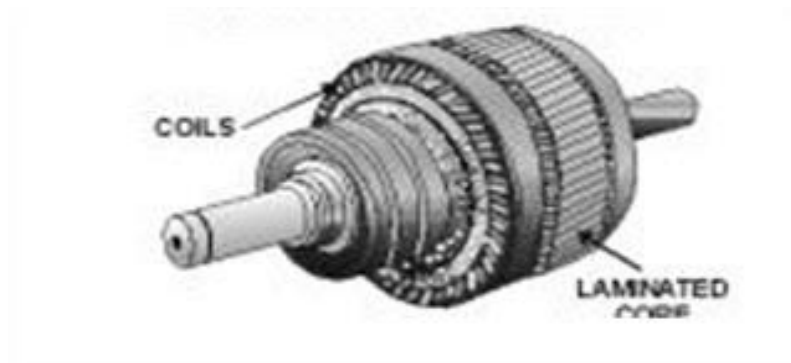
tersebut di atas terutama batang-batang konduktor yang terhubung singkat, maka tidak dimungkinkan untuk menambah "Tahanan Luar" (yang dipasang secara seri) dengan rotor guna keperluan "Pengasutan". Selain itu pula posisi dari batang-batang konduktor/tembaga posisinya dibuat tidak paralel (tidak segaris) dengan poros rotor. Posisi batang konduktor agak dimiringkan sebagaimana terlihat pada gambar 2.4 di atas.

Alasan diletakan posisi miring dari konduktor terhadap poros adalah :

- 1) Memperhalus suara pada saat motor berputar (memperkecil dengungan magnetis/suara bising)
- 2) Menghilangkan kecenderungan "Lock atau mengunci" yang disebabkan karena interaksi langsung antara medan magnet stator dan rotor.
- 3) Pada motor-motor dengan kapasitas kecil, batang-batang konduktor di cor menjadi satu bagian dengan *aluminium alloy*. Selain itu pula contoh lainnya adalah ada juga yang rotornya hanya berupa besi masip tanpa satupun konduktor. Jenis seperti ini biasanya disebut sebagai "Motor Arus Eddy".

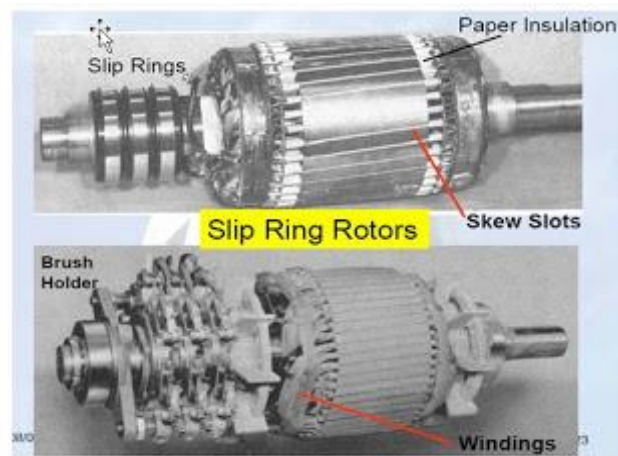
b. Rotor Belitan (*Wound Rotor*)

Rotor yang terbuat dari laminasi-laminasi besi dengan alur-alur sebagai tempat meletakkan belitan (kumparan) dengan ujung-ujung belitan yang juga terhubung singkat seperti gambar 2.6.



Gambar 2.6 Rotor Belitan

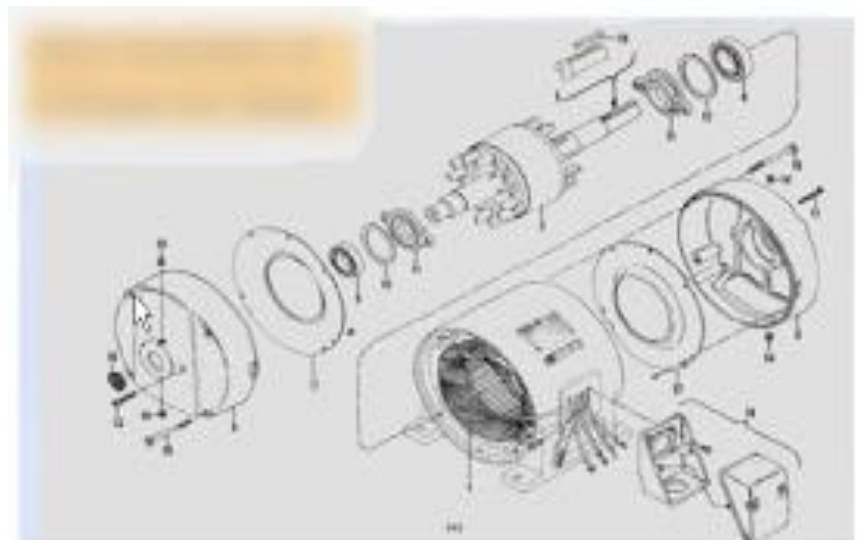
Motor dengan jenis rotor belitan biasanya diperlukan pada saat pengasutan atau pengaturan kecepatan dimana dikehendaki torsi asut yang tinggi



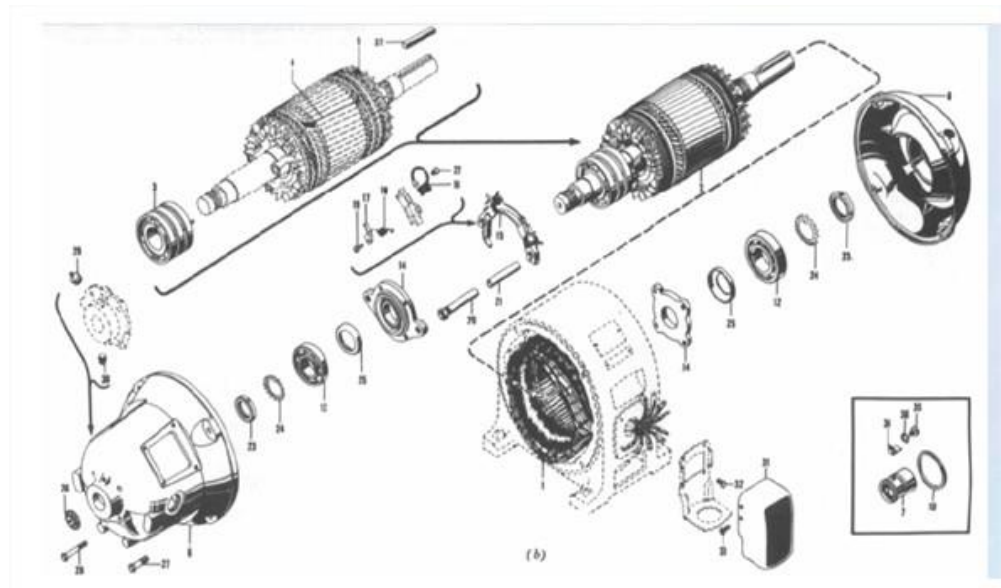
Gambar 2.7 Jenis Rotor Sangkar dan Belitan pada Motor Induksi 3 Fasa

Belitan-belitan yang terpasang pada rotor telah diisolasi sebagaimana belitan yang terdapat pada stator. Belitan yang ada pada rotor diletakkan juga pada alur-alur rotor dan pada setiap ujungnya dihubungkan secara langsung pada cincin (*slipring*) yang posisinya dibagian depan dari rotor serta menjadi satu dengan poros (gambar 2.6.). Belitan rotor ini di desain sama dengan kutub yang dimiliki belitan statornya dan selalu dalam bentuk belitan 3 fasa sekalipun statornya hanya 2 fasa.

Pengaturan belitan/gulungan/kumparan dilakukan untuk masing-masing fase adalah sama. Sedangkan pada ujung-ujung dari masing kumparan/fase yang keluar dihubungkan ke 3 buah cincin (*slipring*) berdasarkan jumlah fasenya. Konstruksi slip ring terhubung secara langsung dengan masing-masing sikat. Dengan demikian, maka pada jenis ini dapat dihubung secara langsung ke "Tahanan luar" guna keperluan pengasutan. Pada gambar 2.7 dan 2.8 di bawah ini menunjukkan detail dari konstruksi motor induksi dengan rotor sangkar dan rotor belitan termasuk bagian-bagiannya



Gambar 2.8 Konstruksi Detail Motor Induksi dengan "Rotor Sangkar"



Gambar 2.9 Konstruksi Detail Motor Induksi dengan "Rotor Belitan"

Motor listrik merupakan motor listrik arus bolak balik (ac) yang paling luas digunakan. Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari di industri maupun rumah tangga. Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi 3 fasa dan motor induksi 1 fasa. Motor induksi 3 fasa dioperasikan pada sistem tenaga 3 fasa dan banyak digunakan dalam industri.

Bila pada ke 3-fasa belitan stator diberikan tegangan 3 fasa seimbang maka pada inti stator akan terjadi medan putar, yang berputar sesuai dengan kecepatan sinkron. Fluksi yang berputar di sepanjang inti stator itu akan memotong batang-batang konduktor rotor, sehingga timbul suatu tegangan imbas di rotor. Karena batang rotor terhubung singkat maka akan mengalir arus rotor pada batang-batang rotor tersebut, yang merupakan gaya putar rotor. Motor berputar dengan kopel putar sebesar gaya tersebut kali jari-jari (jarak batang konduktor-as).

2.2.3 Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Bila kumparan stator motor induksi 3-fasa

yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan 3-fasa, maka kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul emf (ggl) atau tegangan induksi. Karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. Penghantar (kumparan) rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator. Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus; dan sesuai dengan Hukum Lenz, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi. Bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun. Pada rangka stator terdapat kumparan stator yang ditempatkan pada slotslotnya yang dililitkan pada sejumlah kutup tertentu. Jumlah kutup ini menentukan kecepatan berputarnya medan stator yang terjadi yang diinduksikan ke rotornya. Makin besar jumlah kutup akan mengakibatkan makin kecilnya kecepatan putar medan stator dan sebaliknya. Kecepatan berputarnya medan putar ini disebut kecepatan sinkron. Besarnya kecepatan sinkron ini adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\omega_{\text{sink}} &= 2\pi f \text{ (listrik, rad/dt)} \\ &= 2\pi f / P \text{ (mekanik, rad/dt)} \dots\dots\dots (2.1)\end{aligned}$$

$$\text{atau: } N_s = 60 \cdot f / P \text{ (putaran/menit, rpm)}$$

Dimana :

f = frekuensi sumber AC (Hz)

P = jumlah pasang kutup (pole)

N_s dan ω_{sink} = kecepatan putaran sinkron medan magnet stator

Adapun besar arus nominal strating motor dapat di hitung dengan menggunakan rumus rumus daya motor listrik 3 phase yaitu :

$$P = V \times I \times \cos\phi \times \sqrt{3} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

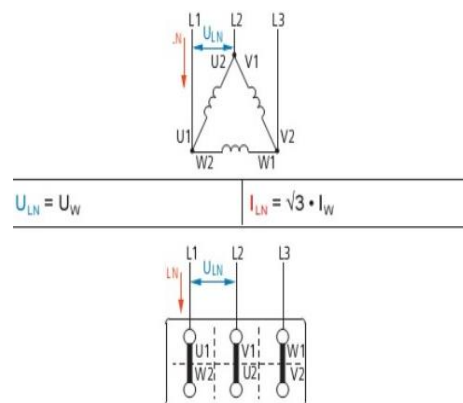
P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

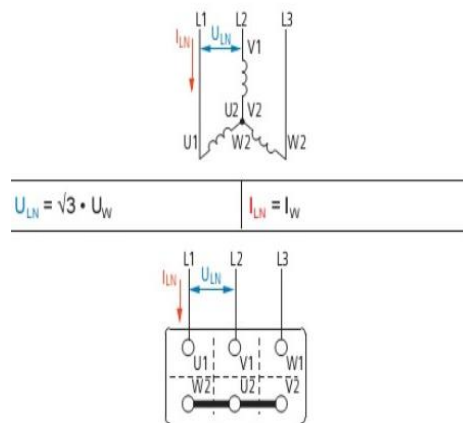
I = Arus (Ampere)

2.2.4 Pengasutan Motor Induksi Tiga Fasa

Jika motor induksi tiga-fasa dihubungkan ke sumber tegangan data pada pelat nama motor harus disesuaikan dengan sumber tegangan dan frekuensinya. Hubungan diimplementasikan melalui enam terminal (versi standar) pada kotal terminal motor dan perbedaannya antara dua jenis rangkaian, hubungan bintang dan hubungan segitiga. Contoh untuk sumber tegangan tiga fasa 400 Volt, 50 Hz.

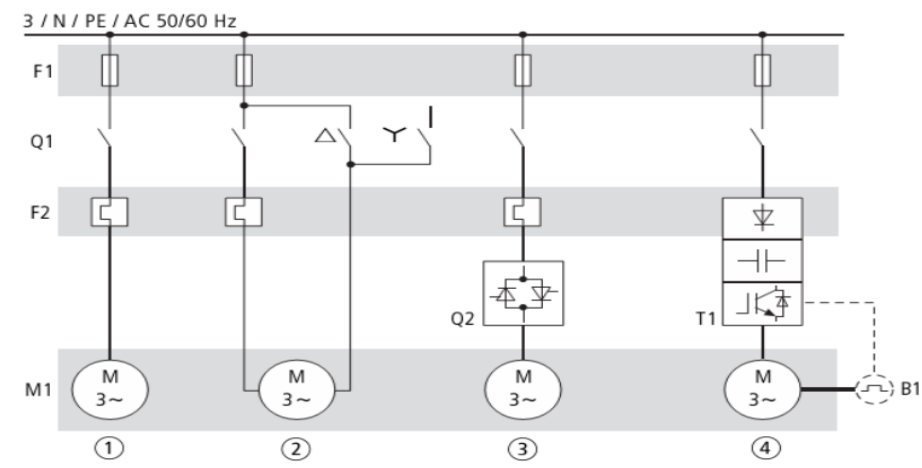


Gambar 2.10 Hubungan Segitiga



Gambar 2.11 Hubungan Bintang

Adapun pengasutan motor induksi dapat dilakukan antara lain :



Gambar 2.12 Metode Pengasutan Motor

1. Pengasutan Langsung (*Direct on Line / DOL Starter*)

Pengasutan motor induksi tiga fasa dengan pengasutan langsung dapat dilakukan dengan menggunakan saklar manual atau dengan menggunakan magnetik kontaktor. Dalam mengoperasikan sebuah motor terutama motor induksi tiga fasa, sebelum mencapai putaran penuh atau pada saat start motor sebelumnya perlu mendapatkan pengasutan terlebih dahulu, guna mengurangi arus start yang cukup tinggi. Pengasutan motor induksi tiga fasa yang paling sederhana dilakukan adalah dengan pengasutan secara langsung. Cara ini dapat dilakukan dengan menggunakan saklar manual tiga fasa dan menggunakan magnetik kontaktor. Kelemahan pada cara ini adalah arus pada saat start yang

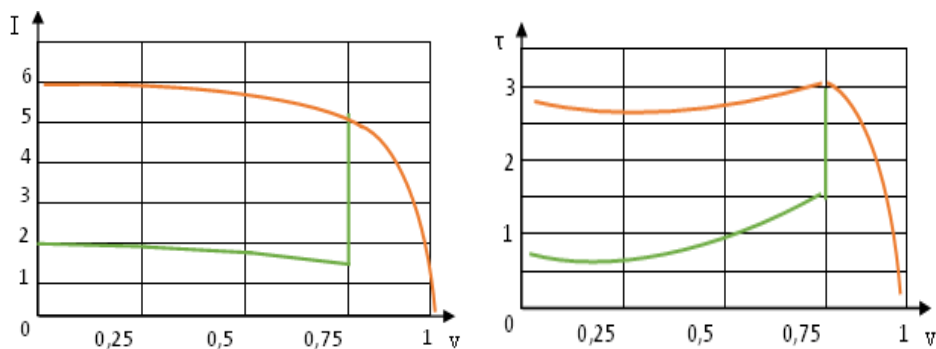
tinggi yaitu dapat mencapai 4-8 kali arus nominal motor. Oleh karena itu motor induksi tiga fasa yang diijinkan dapat distart secara pengasutan langsung hanyalah jenis motor yang berkapasitas relatif kecil yaitu dibawah 4 KW. Pada pengasutan langsung, stator motor dihubungkan langsung pada catu daya listrik.

a. Karakteristik umum

- 1) Arus *Starting* : 4 sampai 8 kali arus nominal
- 2) Torsi *Starting* : 0,5 sampai 1,5 kali torsi nominal
- 3) $T_s = T_n \times 1,5$(2.3)

b. Kriteria pemakaian

- 1) 3 terminal motor, daya rendah sampai menengah
- 2) Arus *starting* tinggi dan terjadi drop tegangan
- 3) Peralatan sederhana



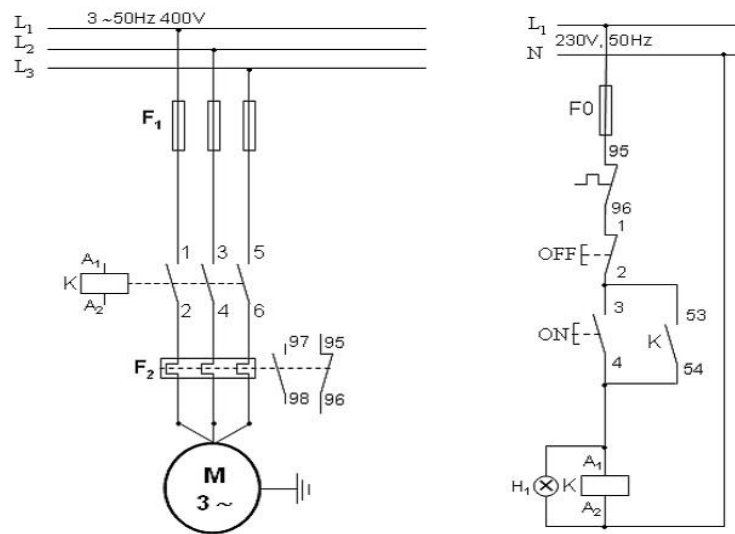
Gambar 2.13 Karakteristik Arus, Torsi, dan Kecepatan

Adapun keterangan dari warna merah merupakan karakteristik DOL dan yang berwarna hijau merupakan karakteristik dari *Star Delta*. Harga torsi berdasarkan daya dapat ditentukan dari persamaan berikut :

Torsi = 5250 x Daya / Putaran (*Newton/Meter*)

$$T = 5250 \times \text{HP} / n(\text{Nm}).....(2.4)$$

Dengan ketentuan 1 HP = 746 Watt dan “n” adalah putaran motor / Rpm

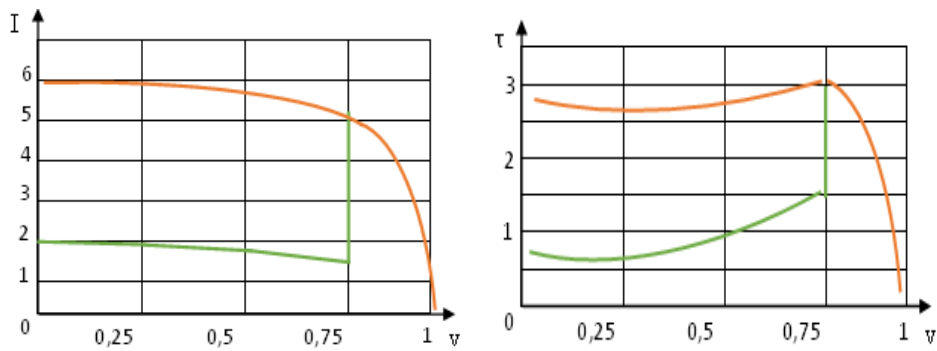


Gambar 2.14 Rangkaian Daya dan Kontrol Pengasutan *Direct On Line*

2. Pengasutan Star-Delta

Metode pengasutan *star delta* banyak digunakan untuk menjalankan motor induksi yang mempunyai daya di atas 5Kw (atau sekitar 7 HP). Untuk menjalankan motor dapat dipilih starter yang umum dipakai antara lain: saklar rotary star delta, saklar khusus star delta atau dapat juga menggunakan beberapa kontaktor magnet beserta kelengkapannya yang dirancang khusus untuk rangkaian starter star delta.

Perlu diingat jika pada name plate motor tertulis 220/380 V. Sedangkan tegangan jala-jala yang tersedia sumber 220 V, maka motor tersebut hanya boleh dihubungkan star artinya motor berjalan normal pada hubungan star pada tegangan 380 V. Motor tersebut dapat dilakukan pengasutan start delta. Apabila dihubungkan pada tegangan jala 3 fasa 380 V.



Gambar 2.15 Karakteristik Arus, Torsi, dan Kecepatan

Adapun keterangan dari warna merah merupakan karakteristik DOL dan yang berwarna hijau merupakan karakteristik dari *Star Delta*. Sedangkan karakteristik dari pengasutan ini adalah :

a. Karakteristik umum

- 1) Arus *Starting* : 1,8 sampai 2,6 kali arus nominal.
- 2) Torsi *Starting* : 0,5 torsi nominal.
- 3) $T_s = T_n \times 0,5$(2.5)

b. Kriteria pemakaian

- 1) 6 terminal motor.
- 2) Torsi puncak pada perubahan star ke delta.

Perbandingan arus *start Star Delta*

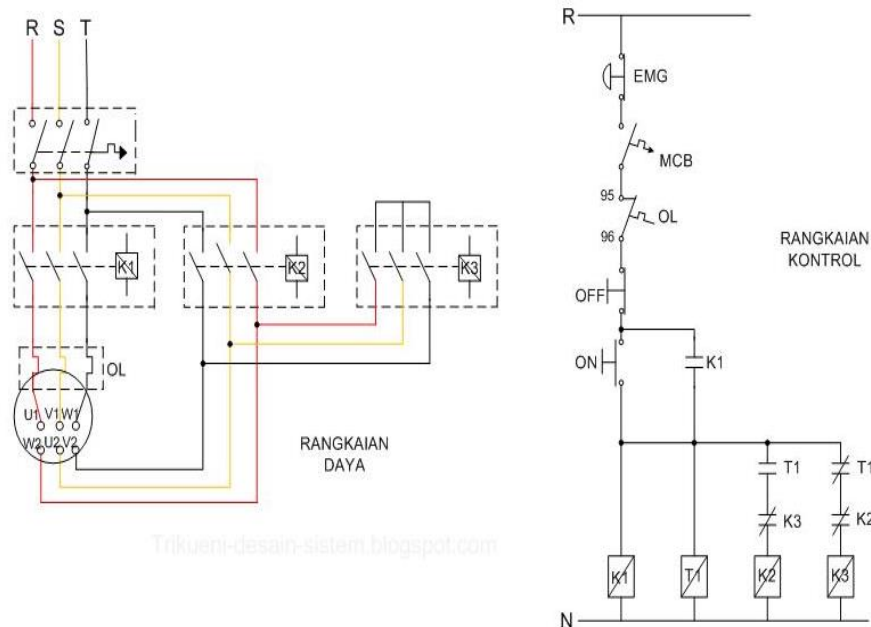
$$I_{STY} = \frac{V/\sqrt{3}}{Z_{fasa}} = \frac{Tegangan\ fasa}{Z_{fasa}}$$

$$I_{ST\Delta} = \frac{V}{Z_{fasa}} \cdot \sqrt{3}$$

$$\frac{I_{STY}}{I_{ST\Delta}} = \frac{V/\sqrt{3}}{Z_{fasa}} \times \frac{Z_{fasa}}{V\sqrt{3}}$$

$$\boxed{\frac{I_{STY}}{I_{ST\Delta}} = \frac{1}{3}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dari rumus diatas dapat dilihat bahwa besar arus pada saat hubung *Start* adalah 1 / 3 kali arus jika motor di hubungkan *Delta*.



Gambar 2.16 Rangkaian Daya dan Kontrol Pengasutan *Start Delta*

3. Soft Starter

Soft starter adalah *thyristor* anti-fase tiga fase yang digunakan sebagai pengatur tegangan antara catu daya dan stator motor.

Sirkuit ini seperti rangkaian penyearah jembatan tiga fase yang sepenuhnya terkontrol. Motor start yang menggunakan *soft starter*, tegangan output *thyristor* berangsur-angsur bertambah, motor berakselerasi secara bertahap sampai pendudukan motorik *thyristor* pada sifat mekanik voltase pengenalan, untuk mencapai kelancaran, mengurangi arus awal, hindari mulai arus lebih. perjalanan.

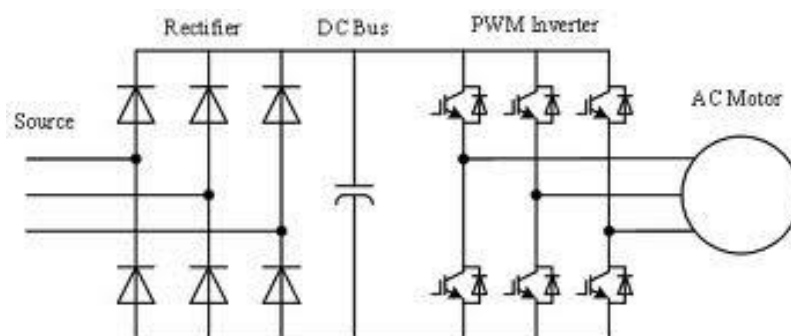
Ketika motor mencapai kecepatan pengenalan, proses pengaktifan akhir, penghubung bypass otomatis thyristor starter lembut dengan pipa penyelesaian tersubstitusi, memberikan voltase pengenalan operasi normal motor, untuk mengurangi kehilangan panas starter lembut thyristor, memperpanjang servis Hidup, meningkatkan efisiensi pekerjaan, tapi juga untuk menghindari polusi jaringan harmonisa. Starter juga menyediakan soft stop function, soft parking dan

soft start proses sebaliknya, voltase yang turun berangsur turun menjadi zero rpm menghindari parkir bebas torsi akibat benturan.

Motor lunak starter adalah penggunaan teknologi elektronik tenaga, teknologi pengolahan mikro dan teori kontrol modern dan desain sekarang merupakan tingkat lanjutan internasional untuk produksi peralatan awal yang baru. Produk ini secara efektif dapat membatasi dimulainya arus motor asinkron AC mulai, dapat digunakan secara luas pada kipas angin, pompa air, kompresor dan beban transportasi, adalah konversi bintang / delta tradisional, alat pemancar otomatis, buck buck magnetron ideal.

4. Variable Frequency Drivers

Inverter / variable frequency drive / variable speed drive merupakan sebuah alat pengatur kecepatan motor dengan mengubah nilai frekuensi dan tegangan yang masuk ke motor. pengaturan nilai frekuensi dan tegangan ini dimaksudkan untuk mendapatkan kecepatan putaran dan torsi motor yang diinginkan atau sesuai dengan kebutuhan. Secara sederhana prinsip dasar inverter untuk dapat mengubah frekuensi menjadi lebih kecil atau lebih besar yaitu dengan mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC kemudian dijadikan tegangan AC lagi dengan frekuensi yang berbeda atau dapat diatur.



Gambar 2.17 Rangkaian Pengasutan VSD

Untuk mengubah tegangan AC menjadi DC dibutuhkan penyearah (converter AC-DC) dan biasanya menggunakan penyearah tidak terkendali (rectifier dioda) namun juga ada yang menggunakan penyearah terkendali (thyristor rectifier). Setelah tegangan sudah diubah menjadi DC maka diperlukan perbaikan kualitas tegangan DC dengan menggunakan tandon kapasitor sebagai perata tegangan. Kemudian tegangan DC diubah menjadi tegangan AC kembali

oleh inverter dengan teknik PWM (Pulse Width Modulation). Dengan teknik PWM ini bisa didapatkan amplitudo dan frekuensi keluaran yang diinginkan. Selain itu teknik PWM juga menghasilkan harmonisa yang jauh lebih kecil dari pada teknik yang lain serta menghasilkan gelombang sinusoidal, dimana kita tahu kalau harmonisa ini akan menimbulkan rugi-rugi pada motor yaitu cepat panas. Maka dari itu teknik PWM inilah yang biasanya dipakai dalam mengubah tegangan DC menjadi AC (Inverter).

2.2.5 Komponen Utama Pengasutan *Start Delta*

1. Kontaktor Magnet

Kontaktor magnet atau sakelar magnet adalah sakelar yang bekerja berdasarkan kemagnetan, artinya saklar ini dapat bekerja apabila ada gaya kemagnetan. Magnet berfungsi sebagai penarik dan pelepas kontak-kontak.

Sebuah kontaktor harus mampu mengalirkan dan memutuskan arus listrik dalam keadaan normal. Arus listrik yang mengalir secara normal adalah arus listrik yang mengalir selama pemutusan tidak terjadi. Kumparan magnet kontaktor (*coil*) dapat dirancang untuk arus searah (DC) atau arus bolak-balik (AC). Kontaktor AC pada intinya magnetnya dipasang cincin hubung singkat untuk menjaga arus kemagnetan tetap stabil, sehingga kontaktor tersebut bekerja normal. Sedangkan pada kumparan magnet DC dipasang cincin hubung singkat. Bila kontaktor DC digunakan pada tegangan bolak-balik (AC) maka kemagnetannya akan timbul dan hilang setiap saat mengikuti bentuk gelombang tegangan bolak-balik (AC).

Bila kontaktor yang rancang untuk tegangan bolak-balik (AC) digunakan pada tegangan searah (DC), maka pada kumparan tersebut tidak akan menimbulkan induksi sehingga kumparan menjadi panas. Sebaliknya bila kontaktor untuk tegangan searah (DC) yang tidak mempunyai cincin hubung singkat dihubungkan dengan tegangan bolak-balik (AC) maka kontaktor tersebut akan bergetar yang disebabkan oleh kemagnetan pada kumparan magnet yang timbul dan hilang setiap detik 100 kali.

Biasanya pada sebuah kontaktor terdapat beberapa kontak, yaitu kontak normal terbuka (*normaly open / NO*) dan kontak normal tertutup (*normaly close /*

NC). Kontak NO berarti saat kontaktor belum bekerja kedudukannya membuka dan bila kontaktor bekerja kedudukan kontakannya menutup/menghubung. Jadi fungsi kontak NO dan NC berlawanan. Fungsi kontak-kontak tersebut terdiri dari kontak utama dan kontak bantu. Kontak utama terdiri dari kontak NO dan kontak bantu terdiri dari kontak NO dan NC. Kontruksi dari kontak utama berbeda dengan kontak bantu, dimana kontak utama mempunyai luas permukaan yang luas dan tebal. Sedangkan kontak bantu luas permukaannya kecil dan tipis.



Gambar 2.18 Kontaktor Magnetik

Kontak utama digunakan untuk mengalirkan arus daya yang besar pada rangkaian utama, yaitu arus yang diperlukan untuk peralatan listrik misalnya : motor listrik, pesawat pemanas dan sebagainya. Sedangkan kontak bantu digunakan untuk mengalirkan arus pada rangkaian pengendali (kontrol) yang diperlukan untuk kumpaan magnet, alat bantu rangkaian, lampu indikator, dan sebagainya. Kategori penggunaan kontraktor magnet sebagai berikut.

Tabel 2.1 Tabel Kategori Penggunaan Kontaktor Magnet

Kategori	Uraian Kategori Menurut IEC
AC1	Non Induktif atau beban induktif ringan
AC2	<i>Pengasutan Motor slip-ring</i>
AC3	Pengasutan Motor Induksi Rotor Sangkar dan hanya pensaklaran setelah kecepatan motor naik

AC4	Pengasutan Motor Induksi Rotor Sangkar dan pengendali <i>inching</i> dan <i>plugging</i> . Rangkaian <i>Start/Stop</i>
AC11	Rangkaian Kontrol (<i>Auxiliary</i>)

Penggunaan kontaktor harus dipahami rangkaian pengendali (kontrol) dan rangkain daya (utama). Rangkaian pengendali adalah rangkaian yang hanya menggambarkan bekerjanya kontaktor dengan kontak-kontak bantu. Sedangkan rangkaian utama adalah rangkaian yang khusus melayani hubungan peralatan listrik dengan sumber tegangan (jala-jala).

2. *Miniature Circuit Breaker*

Miniature Circuit Breaker adalah pengaman motor listrik yang mengintegrasikan pengaman hubung singkat dan beban lebih.



Gambar 2.19 *Miniature Circuit Breaker*

3. *Time Delay Relay / TDR*

Time Delay adalah saklar penunda waktu yang digunakan sebagai alat bantu sistem pengendali. Terminal sumber tegangan pada nomor 2 – 7, Kontak NO pada terminal 1 – 3, 6 – 8 dan kontak NC terdapat terminal 1 – 4 dan 5 – 8

Kebanyakan dari relay penunda waktu yang mempunyai batas pengesetan waktu bervariasi. Contoh : relay penunda waktu memiliki pengesetan waktu dari 0,05 sampai 100 jam. Relay penunda waktu jenisnya ada dua *on-delay* atau *off-delay* yang dapat dihubungkan dengan beban, tergantung bagaimana keluaran dari pengawatan rangkaian. Pada ilustrasi yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini, sebagai contoh *on-delay* atau *closed timer*, juga disebut penunda waktu *normally open, time closed (NOTC)*. Pada contoh ini relay penunda waktu diset untuk menunda waktu 5 detik.



Gambar 2.20 Time Delay Relay

Jika S1 tertutup, relay penunda waktu mulai bekerja atau *energizes* (menghitung waktu). Setelah 5 detik, kontak dari relay tersebut menutup, dan lampu indikator menyala. Jika S1 terbuka, relay penunda waktu tidak bekerja atau *de-energizes*, kotak dari relay tersebut secara bersamaan terbuka, sehingga lampu indikator padam.

4. Thermal Over Load Relay / TOR

Alat pengaman yang digunakan bila pada motor terjadi beban lebih disebut *Thermal Over Load Relay (TOR/TOL)* biasanya digandengkan dengan kontaktor, dipasangkan ada juga pengaman beban lebih yang terintegrasi pad

Motor Circuit Breaker. Relay ini biasanya dihubungkan pada kontaktor ke kontak utama 2, 4 dan 6 sebelum dihubungkan ke beban (motor). Gunanya untuk memberikan perlindungan terhadap motor dari kerusakan akibat beban lebih. Beberapa penyebab terjadinya beban lebih adalah :

1. Terlalu besarnya beban mekanik pada motor.
2. Kerusakan bearing dan macetnya as.
3. Terbukanya salah satu fasa dari motor 3 fasa.

Arus yang terlalu besar timbul pada beban motor akan mengalir pada belitan motor yang dapat menyebabkan kerusakan dan terbakarnya belitan motor. Untuk menghindari hal tersebut terjadi dipasang *Thermal Over Load Relay (TOR/TOL)* pada rangkaian pengendali. Prinsip kerja *Thermal Over Load Relay (TOR/TOL)* berdasarkan panas (temperatur) yang ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui elemen-elemen pemanas bimetal, yang mengakibatkan bimetal melengkung selanjutnya akan menggerakkan kontak-kontak mekanik pemutus rangkaian listrik kontak 95 – 96 membuka dan kontak 97 – 98 menutup.



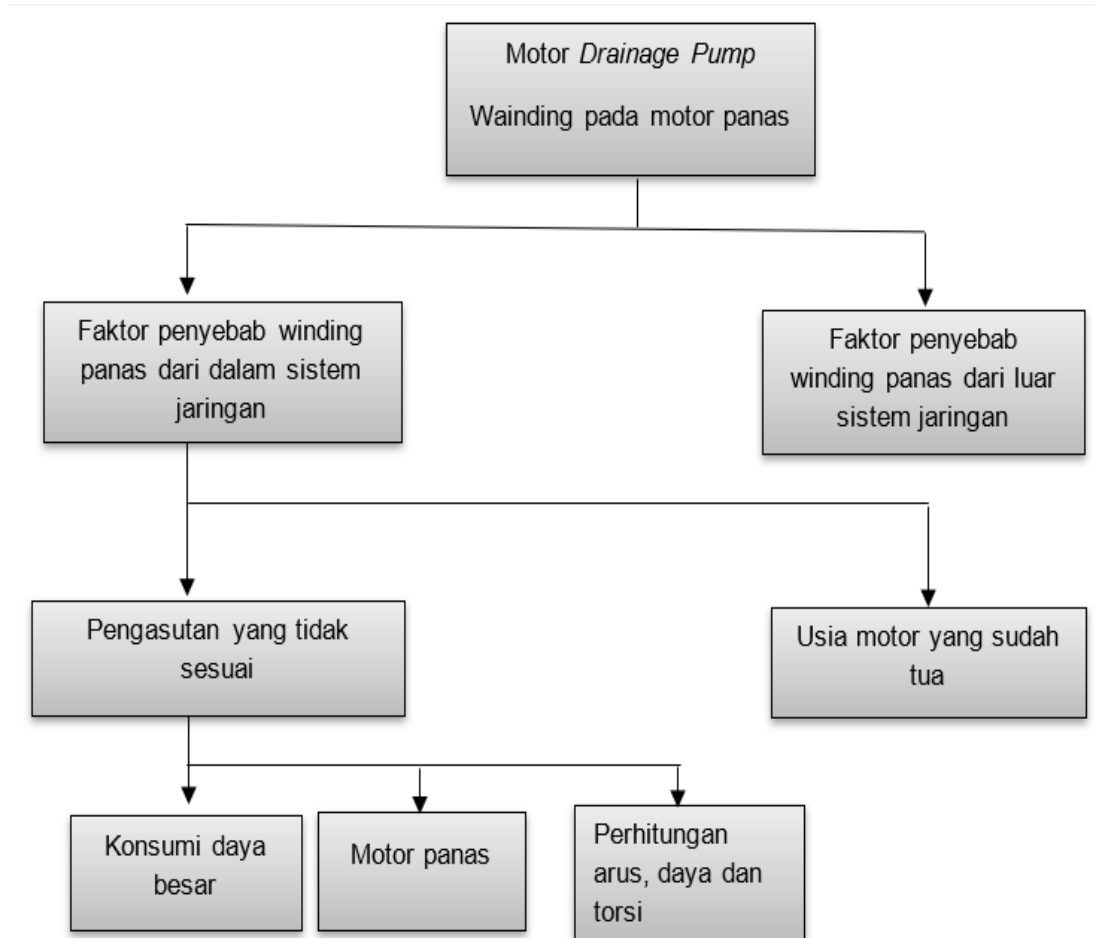
Gambar 2.21 *Thermal Overload Relay*

Perlengkapan lain dari thermal beban lebih adalah reset mekanik yang fungsinya untuk mengembalikan kedudukan kontak 95 – 96 pada posisi semula (menghubung dalam keadaan normal) dan kontak 97 – 98 (membuka dalam keadaan normal). Setelah tombol reset ditekan maka kontak 95 – 96 yang semula membuka akibat beban lebih akan kembali menutup dan kontak 97 – 98 akan

kembali membuka. Bagian lain dari thermal beban lebih adalah pengatur batas arus.

2.3. Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran yang dibahas dalam proyek akhir ini adalah sebagai berikut.



Gambar 2.22 Diagram Flowchart