

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor Induksi tiga fasa mempunyai banyak keunggulan dibandingkan motor DC. Adapun kelebihan dari motor induksi tiga fasa adalah konstruksinya yang sederhana, lebih murah dibandingkan motor jenis lain, kecepatan putaran yang dihasilkan konstan, perawatannya mudah, tidak memerlukan motor lain untuk *starting* awal, rugi gesekan dapat dikurangi karena tidak mempunyai sikat. Tetapi kekurangan dari motor induksi adalah **sulitnya pengaturan putaran motor agar mempunyai kecepatan atau frekuensi yang konstan dan mempunyai arus *starting* yang cukup tinggi sekitar empat sampai delapan kali arus nominal motor yang dapat mengakibatkan penurunan tegangan sistem dan mengganggu kerja sistem peralatan lain dalam satu saluran.**

1.2 Rumusan Masalah

Kekurangan yang dimiliki sebuah motor induksi yang mempunyai arus starting yang cukup tinggi sekitar empat sampai delapan kali arus nominal motor yang dapat mengakibatkan penurunan tegangan sistem dan mengganggu kerja sistem peralatan lain dalam satu saluran. Berikut permasalahan yang ada pada mesin induksi 3 fasa, yang dibahas dalam makalah ini :

1. Mengapa pada saat starting motor induksi membutuhkan arus yang sangat besar?
2. Bagaimana karakteristik start motor induksi?
3. Metode apa saja yang dapat digunakan untuk mengatasi starting motor induksi membutuhkan arus yang sangat besar?
4. Bagaimana prinsip kerja dari masing-masing metode tersebut?
5. Apa perbedaan dari masing-masing metode tersebut?

1.3 Tujuan

Tujuan dari pengerjaan Tugas Makalah Mesin Elektrik 1 ini adalah :

1. Mengerti dan memahami konsep dasar starting motor induksi 3 fasa secara umum.
2. Mengerti dan memahami setiap karakteristik metode yang digunakan pada starting motor induksi 3 fasa secara garis besar.
3. Dapat memahami perbedaan setiap metode starting motor induksi 3 fasa.

1.4 Batasan Masalah

Pada tugas makalah Mesin Elektrik 1 ini, masalah yang dibahas hanya meliputi hal-hal sebagai berikut :

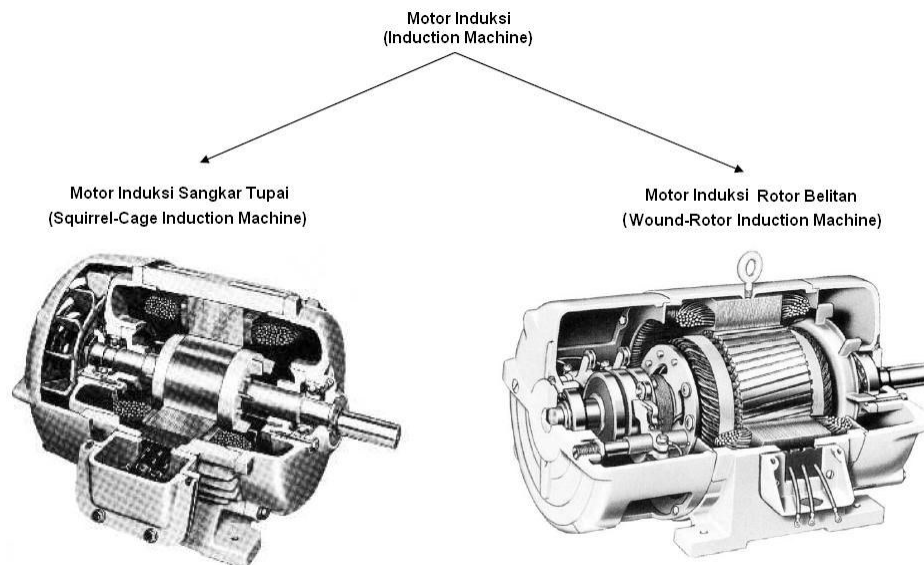
1. Karakteristik *Arus Starting* pada *Motor Induksi 3 Fasa*.
2. Membandingkan metode-metode starting yang dapat digunakan pada *Starting Motor Induksi 3 Fasa*, antara lain starting langsung DOL (Direct On Line), Y- Δ , Autotrafo, Soft Starter (elektronik), dan starting dengan Reaktor.
3. Starting dengan *Rheostat* (motor induksi rotor belitan)

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi adalah suatu mesin listrik yang merubah energi listrik menjadi energi gerak dengan menggunakan gandengan medan listrik dan mempunyai slip antara medan stator dan medan rotor. Bagian utama dari motor induksi terdiri atas dua bagian, yaitu: bagian stator dan bagian rotor. Stator adalah bagian motor yang diam terdiri : badan motor, inti stator, belitan stator, bearing dan *terminal box*. Bagian rotor adalah bagian motor yang berputar, terdiri atas rotor sangkar, poros rotor.



Gambar 2.1 Motor Induksi

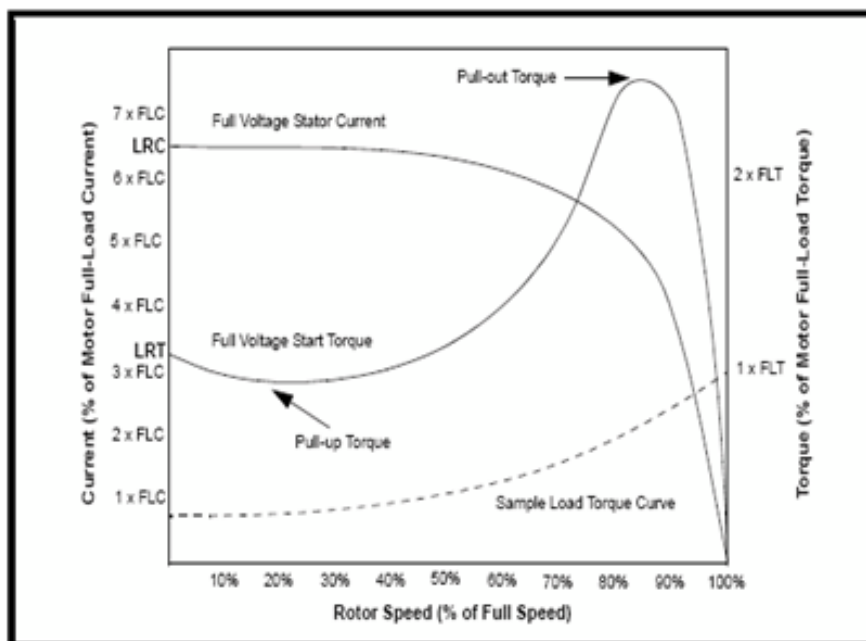
2.2 Karakteristik Arus Starting pada Motor Induksi

Saat motor induksi dijalankan maka akan membutuhkan arus mula yang besar, hal ini dikarenakan frekuensi dan reaktansi yang tinggi dalam kondisi start yaitu dengan slip seratus persen. Jadi dalam rangkaian rotor yang sangat reaktif, arus rotor tertinggal terhadap ggl rotor dengan sudut yang besar. Hal ini berarti bahwa aliran arus maksimum terjadi dalam konduktor rotor pada suatu waktu setelah kerapatan fluksi maksimum stator

melewati konduktor tersebut. Sehingga kondisi ini menghasilkan arus mula yang besar dengan **factor daya yang rendah** dan **menghasilkan torsi mula yang rendah**.

Jika rotor melakukan percepatan, frekuensi rotor menjadi berkurang dikarenakan nilai slip yang berkurang, hal ini berarti nilai reaktansi rotornya berkurang sehingga menyebabkan nilai torsi naik ke harga maksimumnya. Jika motor mempercepat lebih lanjut, torsi akan turun sesuai dengan harga yang diperlukan untuk memutar beban dengan kecepatan konstan.

Karakteristik besarnya arus mula pada sebuah motor induksi bisa di jelaskan dengan melihat gambar 2.1 di bawah ini



Gambar 2.2.Karakteristik arus start pada motor induksi

Dari gambar di atas dapat di jelaskan bahwa saat kondisi start motor listrik memerlukan arus yang besar, hal ini berlangsung untuk beberapa lama. Kemudian arus yang dibutuhkan akan turun pada kondisi locked rotor. Nilai arus yang dibutuhkan akan tetap saat kondisi beban normal. Dari karakteristik arus mula ini kita bisa menentukan karakteristik dan setting relay proteksi yang di butuhkan untuk melindungi peralatan ini.

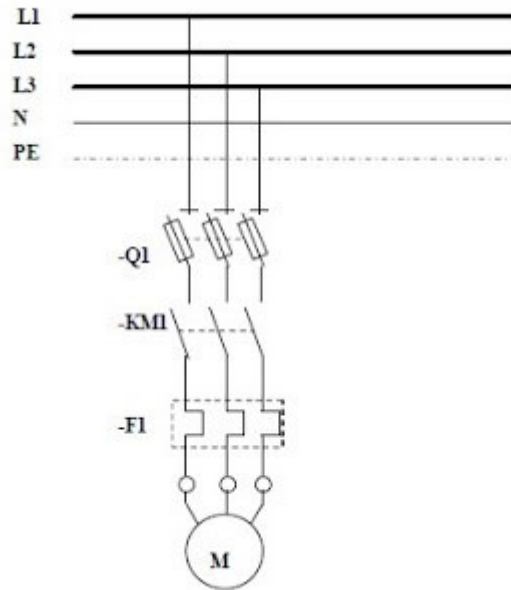
2.3 Starting Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi saat dihidupkan secara langsung akan menarik arus 4 sampai 8 kali dari arus beban penuh dan **hanya menghasilkan torsi 1,5 sampai 2,5 kali torsi beban penuh**. Arus mula yang besar ini dapat mengakibatkan **drop tegangan pada saluran** sehingga akan mengganggu peralatan lain yang dihubungkan pada saluran yang sama. Untuk motor yang berdaya besar tentu arus pengasutan juga akan semakin besar, sehingga untuk motor dengan **daya besar tidak dianjurkan menghidupkan motor secara langsung**. Untuk menghindari hal tersebut, suatu motor induksi seringkali di-start dengan level **tegangan yang lebih rendah dari tegangan nominalnya**. Starting motor induksi 3 fasa dapat dilakukan dengan 6 cara, yaitu :

- Start secara langsung DOL (Direct On Line)
- Start dengan saklar bintang-segitiga
- Start dengan Autotrafo
- Start dengan Rheostat
- Start dengan Soft Starter (elektronik)
- Start dengan Reaktor (induktor)

2.3.1 Starting secara Langsung/DOL (Direct On Line)

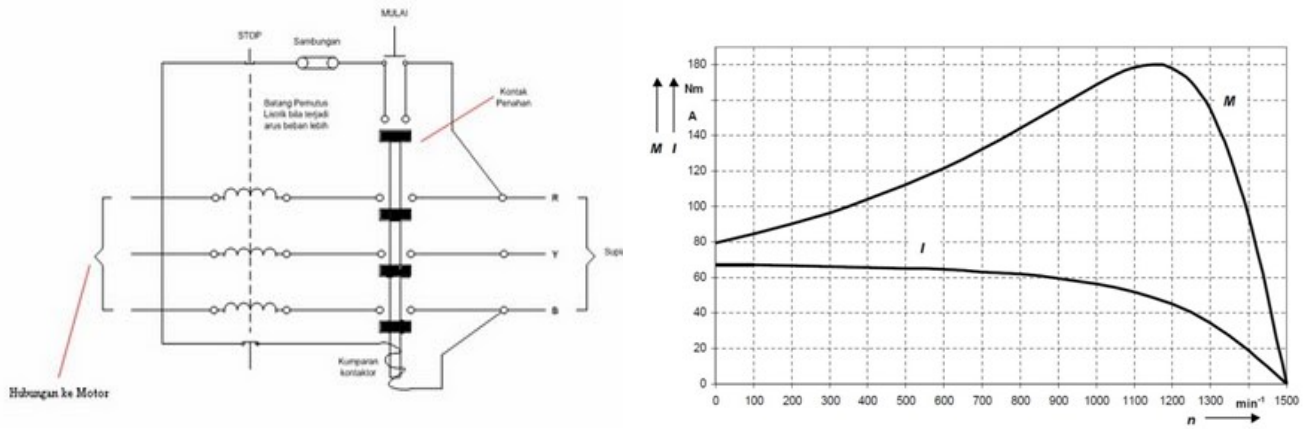
Penggunaan metoda ini sering dilakukan untuk motor-motor AC yang mempunyai **kapasitas daya yang kecil**. Ketika motor dengan kapasitas yang sangat besar di-*start* dengan *direct-on-line*, tegangan sistem akan terganggu (terjadi *voltage dip* pada jaringan suplai) karena adanya arus starting yang besar. Gangguan tegangan ini dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan elektronis yang lain yang terhubung dengan sumber. Pengertian start secara langsung ialah motor yang akan dijalankan langsung di swich On ke sumber tegangan jala-jala sesuai dengan besar tegangan nominal motor. Artinya tidak perlu mengatur atau menurunkan tegangan pada saat starting.



Gambar 2.3 Diagram Direct On Line starter.

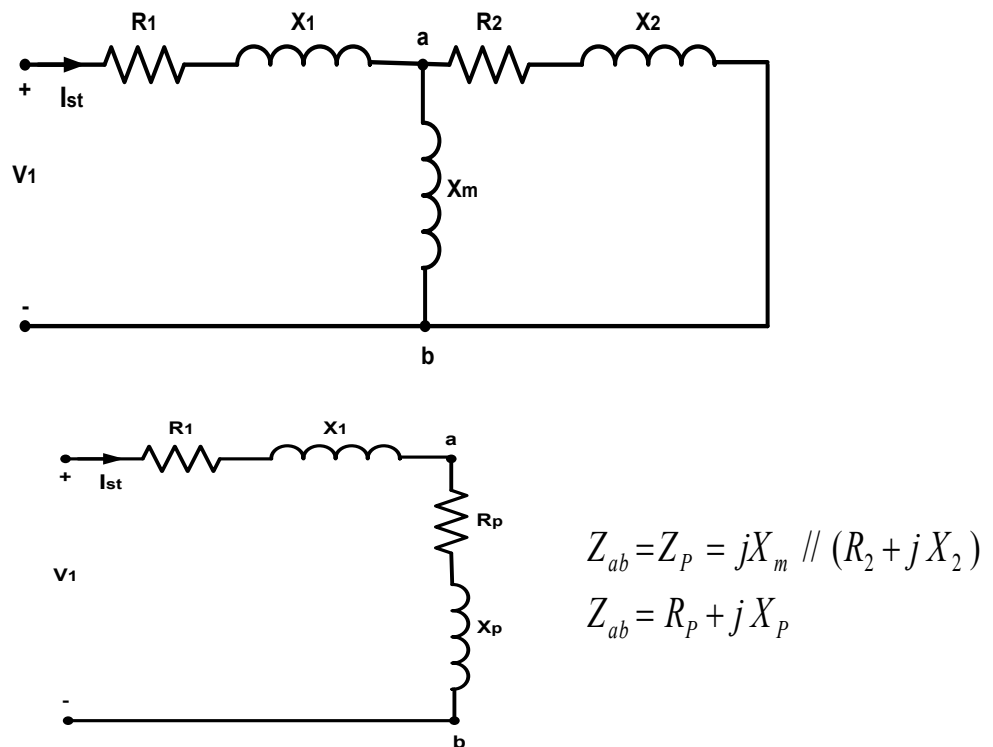
Rangkaian untuk pengasut langsung (DOL Direct On Line) akan memutus atau menghubungkan suplai utama ke motor secara langsung. Karena arus pengasutan motor dapat mencapai 6 sampai 8 kali lebih besar dari arus kondisi normal, maka pengasut langsung ini hanya digunakan untuk motor-motor kecil dengan daya kurang dari 5 kW.

Prinsip kerja starting langsung DOL (*Direct On Line*) secara umum yaitu, jika tombol mulai (Start) ditekan maka arus akan mengalir dari fasa merah (R) melalui rangkaian kendali dan kumparan kontaktor ke fasa biru. Arus ini akan mengkatifkan kumparan kontaktor sehingga kontaktor akan menutup untuk menghubungkan suplai 3 fasa ke motor. Jika tombol mulai dilepaskan rangkaian kendali akan tetap dipertahankan seperti semula melalui sebuah kontak penahan. Jika selanjutnya tombol berhenti (stop) ditekan atau jika kumparan-kumparan beban lebih bekerja maka rangkaian kendali akan terputus dan kontaktor akan membuka untuk memutuskan suplai listrik 3 fasa ke motor. Penghubungan kembali suplai ke motor hanya dapat dilakukan dengan menekan kembali tombol mulai, jadi rangkaian ini juga dapat memberi proteksi terhadap kehilangan tegangan suplai.



Gambar 2.4 Rangkaian dan Karakteristik Starting DOL

Karena dalam keadaan start, rotor belum berputar ($n=0$), maka slip $S = 1$ rangkaian ekuivalen motor induksi tiap fasanya dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.5 Rangkaian Ekuivalen

Sehingga didapatkan persamaan arus starting, sebagai berikut :

$$I_{st} = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_p)^2 + (X_1 + X_p)^2}} = \frac{V_1}{Z_{sc}}$$

Keunggulan dari metode ini adalah peralatan start yang sederhana, torsi mula yang besar, dapat start dengan cepat dan biaya yang murah. Metode ini bisa digunakan ketika:

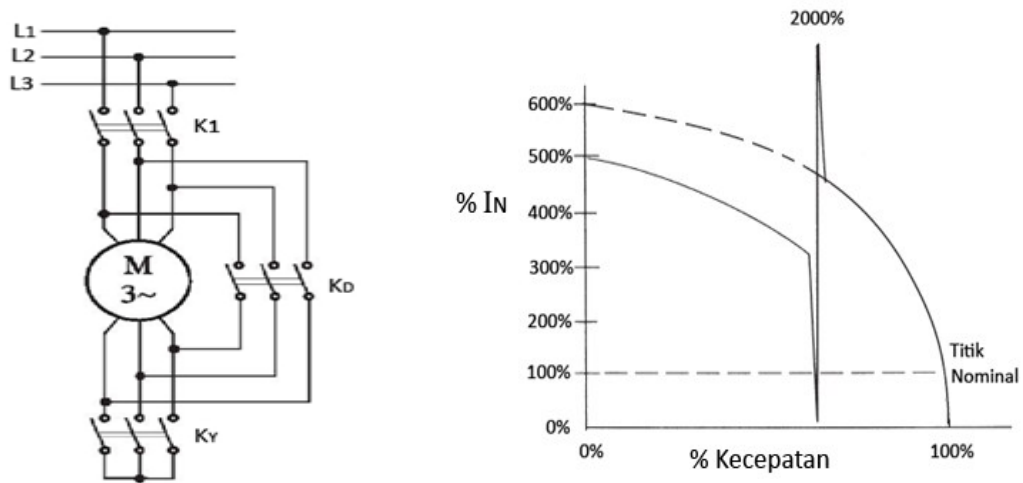
- Daya motor relatif rendah di bandingkan suplai utama, yang di batasi dengan arus inrush
- Peralatan yang digerakkan tidak memerlukan peningkatan secara bertahap atau peralatan peredam yang membatasi shock dari start mula.
- Starting torsi diperbolehkan cukup besar tanpa mengganggu operasi dari peralatan atau beban yang di gerakkan.

2.3.2 Starting dengan saklar Bintang-Segitiga (Y- Δ)

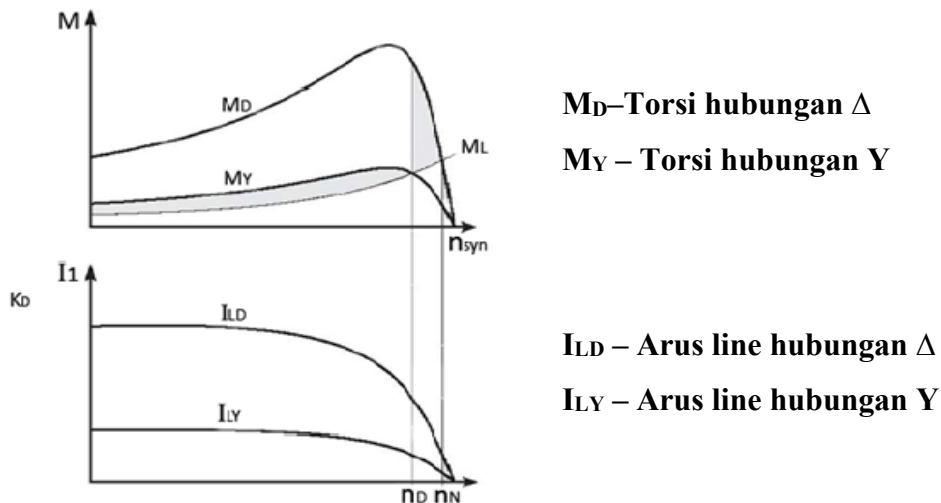
Start dengan metode star-delta ini memanfaatkan penurunan tegangan yang dicatu ke motor saat stator motor terhubung dalam rangkaian star. Pada waktu start, yakni saat stator berada pada rangkaian bintang, arus motor hanya mengambil **sepertiga dari arus** motor jika motor distart dengan metode DOL. Berhubung torsi motor berbanding lurus dengan kuadrat dari tegangan, maka torsi motor pada rangkaian bintang juga hanya sepertiga dari torsi pada rangkaian delta.

Prinsip Kerja saat start, pertama-tama kontaktor utama K_1 dan kontaktor bintang K_Y diaktifkan. Peralihan dari rangkaian bintang ke rangkaian delta terjadi pada kecepatan n_D , yakni jika kecepatan motor sudah mencapai kira-kira 80% dari kecepatan nominal. Caranya dengan pengaktifan kontaktor K_D dan pada saat yang sama kontaktor K_Y dibuat tidak aktif. Namun, sesaat motor sudah terlepas dari rangkaian bintang tetapi masih belum terhubung ke rangkaian delta, rotor masih berputar, demikian juga arus rotor masih mengalir di kumparan rotor. Ada fluks magnetik sisa di rotor yang memotong kumparan stator. Sehingga terjadi tegangan induksi ke stator yang frekuensinya tergantung dari kecepatan rotor saat itu.

Kecepatan rotor saat itu tergantung sekali pada beban. Saat motor terhubung ke rangkaian delta, terjadilah arus *inrush* yang sangat besar, yang mana nilainya dapat mencapai hingga 2000 % dalam durasi yang sangat pendek sekitar 200 ms (lihat grafik di bawah ini). Hal ini terjadi karena adanya perbedaan fasa yang sangat besar telah terjadi saat stator terhubung kembali ke jaringan listrik dalam rangkaian delta dengan fluk dari rotor. Arus yang tinggi ini mengakibatkan terjadinya torsi kejut dan dapat memberikan dampak buruk bagi komponen transmisi dan komponen pemutus arus dari system drive tersebut.



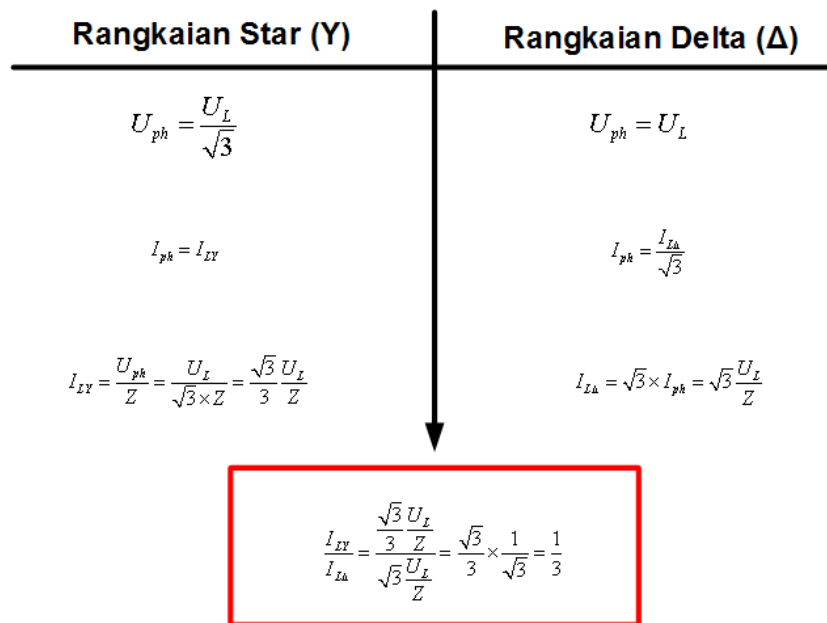
Gambar 2.6 Rangkaian dan Grafik Peralihan Star ke Delta



Gambar 2.6 Karakteristik Arus Starting Way-Delta

Bagian kurva Torsi terhadap Kecepatan yang diberi bayangan arsir adalah torsi asselerasi yang dibutuhkan untuk meng-asselerasi beban. Perhatikan torsi start pada rangkaian bintang harus selalu lebih besar dari torsi awal beban supaya motor dapat mengangkat beban dan berasselerasi menuju kecepatan nominal.

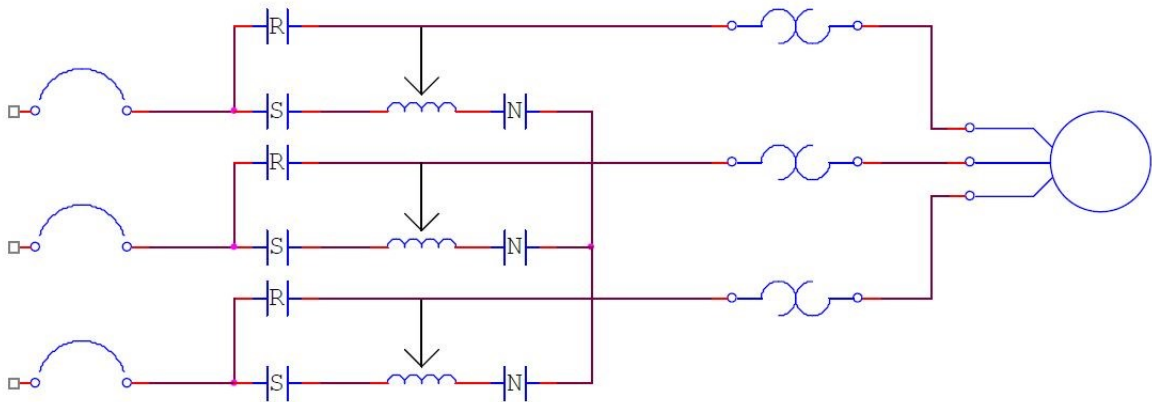
$$I_{st}(Y-\Delta) = \frac{1}{3} \times I_{st}(\Delta)$$



Hubungan bintang delta atau star-delta atau wye-delta ini memang cukup digemari sebagai pilihan aplikasi yang membutuhkan konsumsi arus yang kecil beberapa saat awal motor dihidupkan namun memiliki suatu kelemahan yang membuatnya kurang menjadi pilihan setelah adanya pengembangan starting yang lebih baik seperti *soft starter*. Salah satunya alasan pemilihan jenis *starting* ini adalah biaya yang lebih murah dibandingkan starting lainnya. Satu lagi dari kelemahan starting star-delta adalah apabila beban membutuhkan 40% dari torsi awal atau lebih untuk start maka terpaksa harus memilih motor induksi dengan satu frame size yang lebih besar.

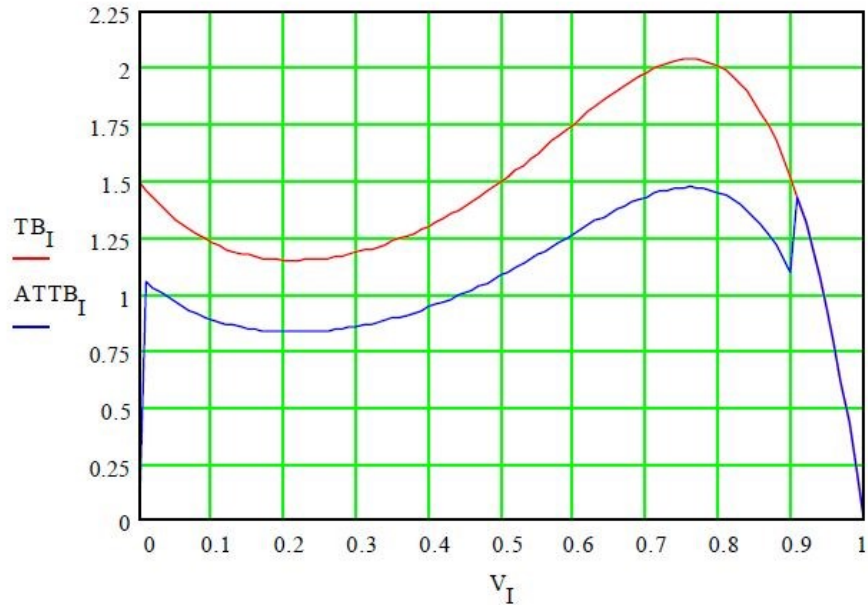
2.3.3 Starting dengan Auto-transformator

Auto-transformator Starter menggunakan auto-transformator untuk mengurangi tegangan selama periode awal dan kemudian menghubungkannya ketegangan penuh untuk mendapatkan kecepatan yang cukup. Transformator memiliki berbagai tap yang dapat digunakan untuk menetapkan tegangan awal. Pengurangan tegangan awal dapat menyebabkan pengurangan arus pada motor. Selanjutnya dikurangi oleh transformator yang mengakibatkan arus line lebih kecil daripada arus motor sebenarnya. Biasanya sebuah auto-transformator menyediakan sejumlah tap untuk mengurangi tegangan ke terminal motor, sehingga mengurangi arus motor dan torsi saat pada starting. Timer atau sentrifugal switch dapat digunakan untuk mengubah pengaturan tap selama start. Saat pengaturan kita dapat memberikan transisi tertutup atau terbuka. Transisi terbuka memiliki logika yang lebih sederhana, tetapi bias menyebabkan arus transien saat transisi perubahan tap. Transisi tertutup membutuhkan lebih logika yang lebih rumit tetapi memiliki transisi yang mulus antara perubahan tap. Karena tegangan motor berkurang, arus motor berkurang, sedangkan nilai torsi berkurang dengan kuadrat pengurangan tegangan.



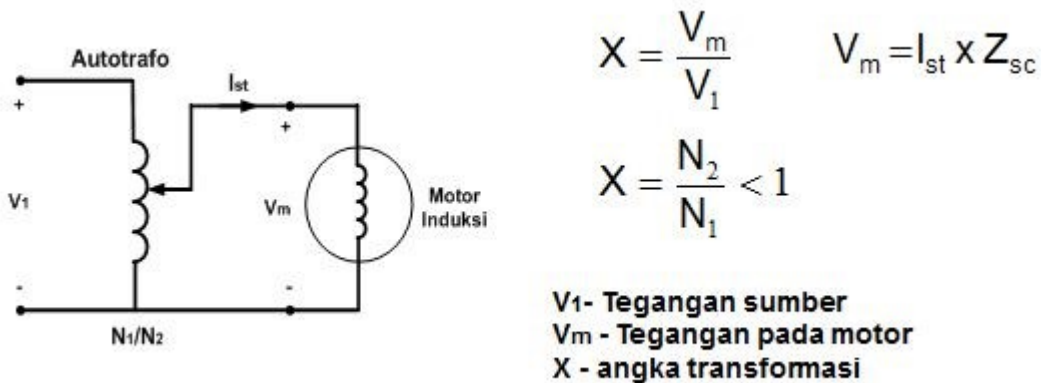
Gambar 2.7 Starting dengan Autotransformator

Kurva torsi/kecepatan dari auto-transformator ditunjukkan pada gambar dan dibandingkan dengan Torsi Across The Line/kecepatan. Torsi Across The Line ditunjukkan dengan warna merah, dan kurva auto-transformator ditunjukkan oleh warna biru.



Gambar 2.8 Karakteristik Starting dengan Autotransformator

Untuk rangkaian ekivalennya sebagai berikut:



Beberapa keuntungan menggunakan starting motor auto-transformator:

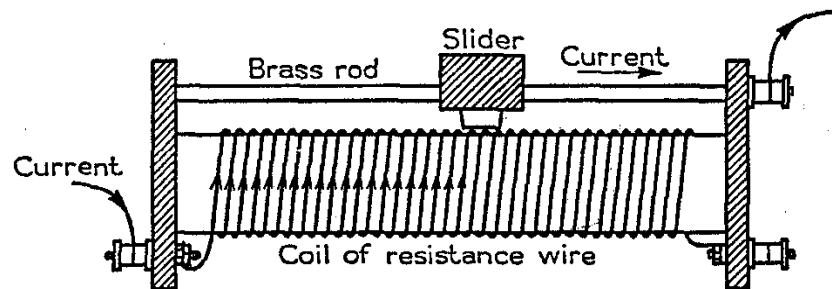
1. Menyediakan torsi tertinggi per ampere arus line.
2. Tap pada autotransformer member pengaturan untuk tegangan start
3. Cocok untuk periode starting yang lama.
4. Saatstarting, arus motor lebih besar dari arus line nya.
5. Faktor daya yang rendah.

Beberapa kerugian menggunakan starting motor auto-transformator:

1. Ukuran yang cukup besar
2. Biaya cukup tinggi
3. Memilik jumlah tap yang terbatas
4. Semakin banyak tap yang digunakan, maka semakin rumit logika yang digunakan

2.3.4 Starting dengan Rheostat

Rheostat atau tahanan luar, adalah suatu perangkat yang digunakan untuk mengatur arus listrik dengan meningkatkan atau menurunkan nilai tahanan dari rangkaian dan merupakan cara yang paling umum untuk mengubah-ubah besar tahanan dalam suatu rangkaian. Karena biasa digunakan untuk menangani tegangan dan arus yang tinggi, maka rheostat dapat digunakan untuk mengontrol motor dalam mesin industry.



Wire-wound rheostat

Gambar 2.9 Motor Induksi Starting dengan Rheostat

Gambar diatas menunjukkan rheostat sederhana. Arus mengalir pada kumparan tahanan dan dari kumparan tahanan melalui slider. Ketika tombol diaktifkan, slider bergerak sepanjang kumparan, besar hambatan berubah dengan cara memvariasikan panjang kumparan yang dilalui arus pada kumparan tahanan.

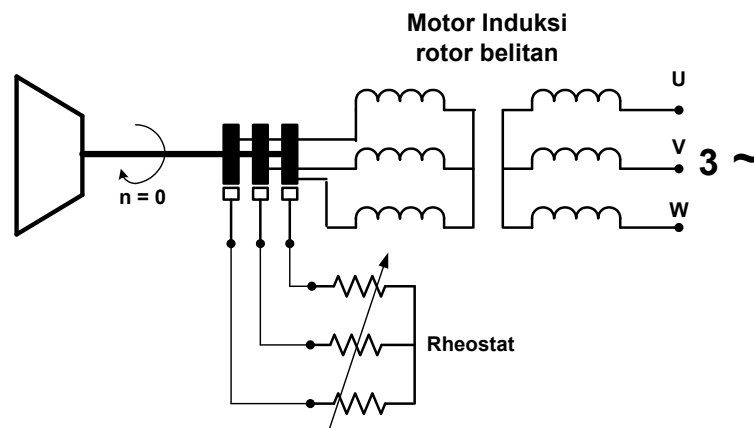
Pada pengawalan motor induksi 3 fasa, dilakukan dengan rheostat. Pengawalan dengan rheostat digunakan khusus untuk rotor belitan atau motor slip ring. Motor slip-ring selalu diasut menggunakan rotor resistance starting. Pada metode ini, sebuah rheostat (terhubung dengan hubungan bintang/wye) dihubungkan pada rangkaian rotor melalui slip-

ring dan tegangan penuh disambungkan pada belitan stator. Tahanan luar yang diatur bervariasi akan memberikan tegangan masuk bervariasi pada motor.

Saat asutan, pemutar (handle) rheostat diatur pada posisi OFF sehingga tahanan maksimum berada pada setiap fasa rangkaian stator. Hal tersebut untuk mereduksi arus start dan pada saat yang sama torsi start bertambah.

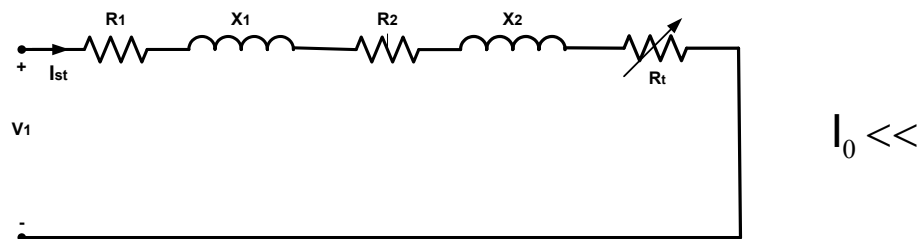
Setelah motor mendapatkan kecepatannya, pemutar rheostat secara berangsur-angsur diputar searah jarum jam dan keluar dari rheostat untuk setiap fasa rangkaian rotor. Ketika motor mencapai kecepatan konstan, Change-over switch berada pada posisi ON dan seluruh rheostat keluar dari rangkaian rotor.

Gambar di bawah adalah gambar starting motor induksi dengan rheostat. Dilihat pada gambar, rheostat disimbolkan dengan gambar resistansi dengan tanda panah ke arah luar. Rheostat dihubungkan dengan rotor untuk melakukan pengawalan.



Gambar 2.10 Starting dengan Rheostat

Gambar rangkaian ekuivalen dari starting motor induksi 3 fasa dengan rheostat adalah sebagai berikut.



Sehingga dari gambar di atas akan mendapat rumus:

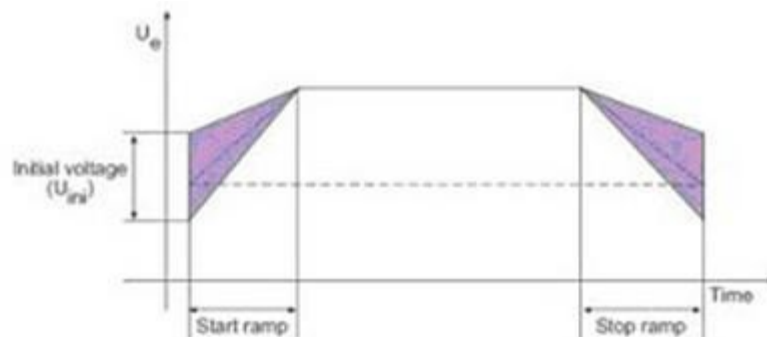
$$I_{st} = \frac{V_1}{\sqrt{(R_1 + R_2' + R_t)^2 + (X_1 + X_2')^2}}$$

Dimana jika nilai hambatan semakin besar maka arus start akan semakin kecil.

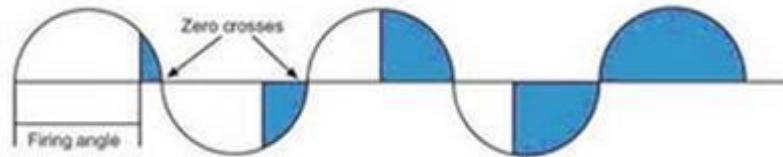
2.3.5 Starting dengan Soft Starter (elektronik)

Soft starter sangat berbeda dengan starter lain. Alat ini mempergunakan thyristor sebagai komponen utamanya. Tegangan yang masuk ke motor akan diatur dimulai dengan sangat rendah sehingga arus dan torsi saat start juga rendah. Pada saat start ini tegangan yang masuk hanya cukup untuk menggerakkan beban dan akan menghilangkan kejutan pada beban. Secara perlahan tegangan dan torsi akan dinaikan sehingga motor akan mengalami percepatan sehingga tercapai kecepatan normal. Salah satu keuntungan mempergunakan alat ini adalah kemungkinan dilakukannya pengaturan torsi pada saat yang diperlukan, tidak terpengaruh ada atau tidaknya beban.

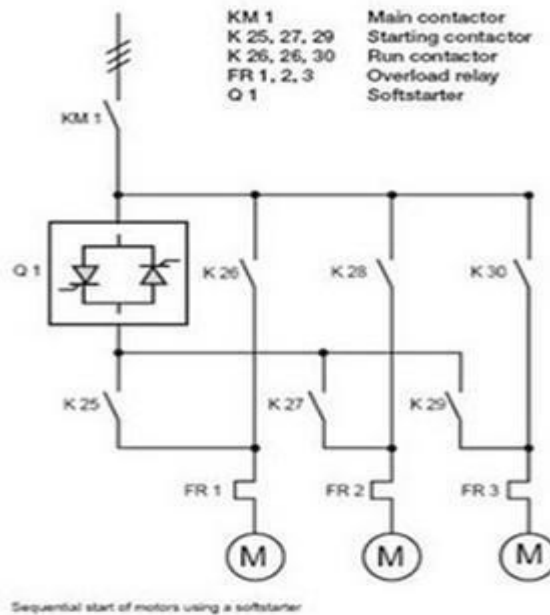
Soft starter dipergunakan untuk mengatur/ memperhalus start dari elektrik motor. Prinsip kerjanya adalah dengan mengatur tegangan yang masuk ke motor. Pertama-tama motor hanya diberikan tegangan yang rendah sehingga arus dan torsi pun juga rendah. Pada level ini motor hanya sekedar bergerak perlahan dan tidak menimbulkan kejutan. Selanjutnya tegangan akan dinaikan secara bertahap sampai ke nominal tegangannya dan motor akan berputar dengan dengan kondisi RPM yang nominal.



Komponen utama softstarter adalah thyristor dan rangkaian yang mengatur trigger thyristor. Seperti diketahui, output thyristor dapat di atur via pin gate nya. Rangkaian tersebut akan mengontrol level tegangan yang akan dikeluarkan oleh thyristor. Thyristor yang terpasang bisa pada 2 phase atau 3 phase.

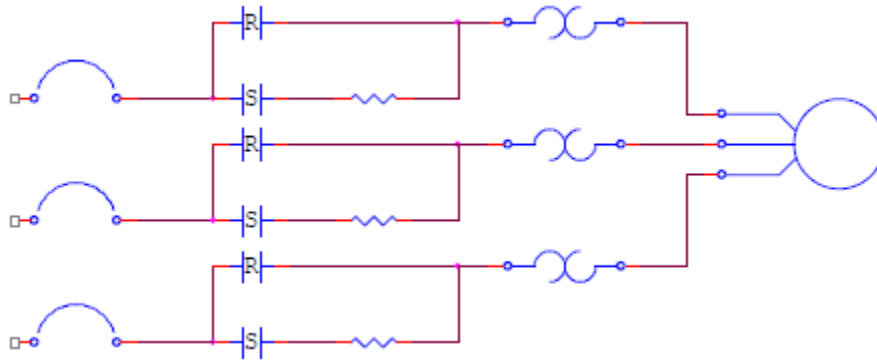


Selain untuk starting motor, Soft starter juga dilengkapi fitur soft stop. Jadi saat stop, tegangan juga dikurangi secara perlahan atau tidak dilepaskan begitu saja seperti pada starter yang menggunakan contactor.



Gambar 2.11 Starting dengan Soft Starter

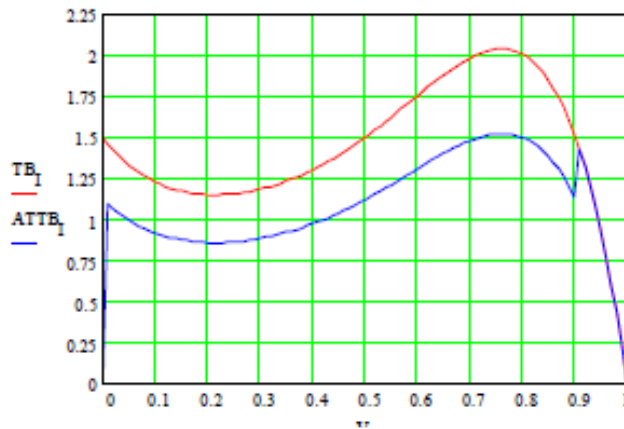
2.3.6 Starting dengan Reaktor



Gambar 2.13 Starting dengan Reaktor

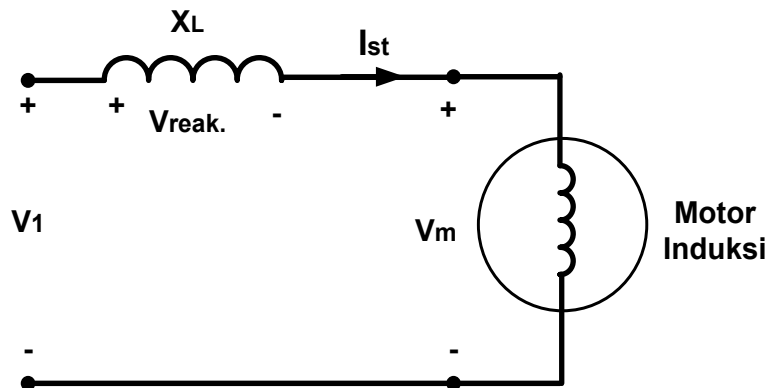
Kekuatan sirkuit untuk pemula reaktor primer ditunjukkan di atas dalam Gambar 2.13. Starter reaktor utama awalnya menciptakan tegangan pembagi dengan menempatkan unsur reaktif secara seri dengan rangkaian stator motor untuk menurunkan tegangan ke stator motor sampai jalankan kontak bergerak sehingga mengurangi motor arus dan torsi saat start. Entah switch timer atau sentrifugal dapat digunakan sebagai sinyal untuk melangsir keluar reaktor saat motor mendekati kecepatan penuh. Entah transisi terbuka atau tertutup dapat diberikan antara awal dan menjalankan. Seperti yang kita telah diturunkan di atas, sebagai tegangan ke motor berliku berkurang, arus ke motor berkurang langsung.

Sedangkan nilai torsi berkurang dengan kuadrat pengurangan tegangan. Sebuah torsi / kecepatan kurva umum untuk reaktor primer pemula ditampilkan di bawah pada Gambar 2.14 dan dibandingkan dengan melintasi garis torsi / kecepatan kurva. Kurva ATL ditampilkan dalam warna merah dan kurva pemula reaktor primer diperlihatkan dengan warna biru.



Gambar 2.14 Karakteristik Starting dengan Reaktor

Salah satu keuntungan dari starter reaktor utama adalah pengurangan saat ini sejalan dengan disipasi panas kurang dari resistor utama sirkuit. Kelemahan dari starter reaktor utama adalah faktor daya yang buruk yang disebabkan oleh induktansi tambahan dalam rangkaian awal dan keterbatasan pengaturan tegangan awal.



Gambar 2.15 Rangkaian Ekuivalen

$$V_{reak.} = V_1 - V_m$$

dimana : V_1 - Tegangan sumber

V_m - Tegangan pada motor

$$V_m = I_{st} \times Z_{sc}$$

$$X_L = \frac{V_{reak.}}{I_{st}}$$

BAB III

KESIMPULAN

Motor induksi saat dihidupkan secara langsung akan menarik arus 4 sampai 7 kali dari arus beban penuh dan hanya menghasilkan torsi 1,5 sampai 2,5 kali torsi beban penuh. Arus mula yang besar ini dapat mengakibatkan drop tegangan pada saluran sehingga akan mengganggu peralatan lain yang dihubungkan pada saluran yang sama. Untuk menghindari hal tersebut, suatu motor induksi seringkali di-start dengan level tegangan yang lebih rendah dari tegangan nominalnya. Starting motor induksi 3 fasa dapat dilakukan dengan 6 cara, yaitu :

- Start secara langsung DOL (Direct On Line)
- Start dengan saklar bintang-segitiga
- Start dengan Autotrafo
- Start dengan Rheostat
- Start dengan Soft Starter (elektronik)
- Pengasutan dengan Reaktor (induktor)

DAFTAR PUSTAKA

- ❑ Abdurrahman, Sutedjo. “Motor Induksi Tiga Fasa”.
- ❑ Abdul Kadir, Prof. Ir., *Mesin Tak Serempak*, PT Djabatan, Jakarta, 1981.
- ❑ Dwi Riyadi, *Soft Starting Pada Motor Induksi 3 Fasa*, Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2001 .
- ❑ <http://www.scribd.com/doc/11026244/Motor-Induksi-Tiga-Phase>
- ❑ <http://asyahdad.blogspot.com/2011/04/metode-starting-motor-induksi.html>
- ❑ <http://novikaginanto.wordpress.com/2012/03/24/etap-electric-transient-analysis-program/>
- ❑ <http://eprints.undip.ac.id/25907/1/ML2F001649.pdf>
- ❑ <http://dwiseptari.blogspot.com/2010/05/sistem-start-pada-motor-induksi.html>
- ❑ [http://tukanglistrikshipyard.blogspot.com/2013/02/star-delta-starter-start-dengan methode.html](http://tukanglistrikshipyard.blogspot.com/2013/02/star-delta-starter-start-dengan-methode.html)