

## METODE STARTING MOTOR INDUKSI 3 FASA ROTOR SANGKAR TUPAI (SQUIRREL-CAGE ROTOR 3 PHASE INDUCTION MOTOR)

Ali Supriyadi \*)

### Abstrak

*Motor induksi tiga fasa rotor sangkar tupai (squirrel cage rotor 3 phase induction motor) merupakan motor arus bolak-balik yang paling banyak digunakan di perindustrian karena memiliki beberapa keuntungan antara lain motor ini sederhana, murah dan mudah pemeliharaannya. Selain itu motor induksi mempunyai efisiensi yang baik dan putaran konstan untuk setiap perubahan beban. Starting motor induksi tiga fasa tidak memiliki permasalahan yang cukup besar seperti pada motor sinkron. Pada dasarnya motor induksi daya kecil dapat distart langsung hanya dengan menghubungkan dengan sumber tegangan. Namun untuk motor induksi yang besar hal ini tidak dapat dilakukan, karena arus start yang relatif besar yaitu 2 sampai 7 kali arus nominal. Pada saat motor induksi dalam keadaan start, frekuensi rotor dan reaktansinya tinggi yaitu dengan slip 100%, jadi dalam rangkaian rotor yang sangat reaktif, arus rotor tertinggal ggl rotor dengan sudut yang besar, ini akan menghasilkan arus start yang tinggi pada faktor daya rendah. Pada keadaan tertentu, kelebihan arus start ini bisa menyebabkan gangguan pada saluran instalasi yang nantinya bias mempengaruhi operasi kerja motor motor lain. Secara umum motor induksi tinggi tiga fasa rotor sangkar tupai dapat distart dengan cara menghubungkan motor secara langsung ke sumber tegangan, akan tetapi untuk mengurangi arus start yang tinggi dapat dilakukan dengan cara mengatur tegangan yang masuk ke motor selama periode start. Pengendalian yang digunakan untuk menstart motor pada kedua metode starting di atas dapat dioperasikan baik secara manual ataupun secara magnetik.*

### I. PENDAHULUAN

Pada motor induksi tiga fasa terdapat beraneka ragam macam bentuk starting. Metode starting tersebut dibagi menjadi metode starting pada motor induksi tiga fasa rotor sangkar tupai (squirrel cage induction motor) dan metode starting pada motor induksi tiga fasa rotor lilit (wound rotor induction motor), tapi yang dibahas disini hanya metode starting pada motor induksi tiga fasa rotor sangkar tupai (squirrel cage induction motor).

Pada saat sebuah motor induksi tiga fasa dihubungkan secara langsung pada suplai, (direct on-line) sehingga tegangan penuh langsung mengalir, maka motor listrik akan menarik arus lebih banyak dari

pada arus normal yang dibutuhkannya. Berdasarkan kepada jenis/ukuran motor dan kelembaman beban, arus start ini bisa dua sampai tujuh kali (atau lebih) dari arus running (arus normal pada saat motor berjalan).

Arus start ini juga akan mengakibatkan daya torsi start akan lebih besar pada saat start sehingga bisa merusak beban atau mesin yang menggerakkan motor. Arus start yang besar ini dapat mengakibatkan drop tegangan pada saluran sehingga akan mengganggu peralatan lain yang dihubungkan pada saluran yang sama.

Untuk memperkecil arus start, motor induksi tiga fasa dapat distart dengan

mengatur besarnya tegangan yang masuk ke motor listrik selama periode start. Ada beberapa metode start motor induksi tiga fasa dengan mengatur besarnya tegangan masukan ke motor listrik, yaitu :

- Starting wye-delta
- Starting autotransformator
- Starting tahanan primer

## II. MOTOR INDUKSI TIGA FASA

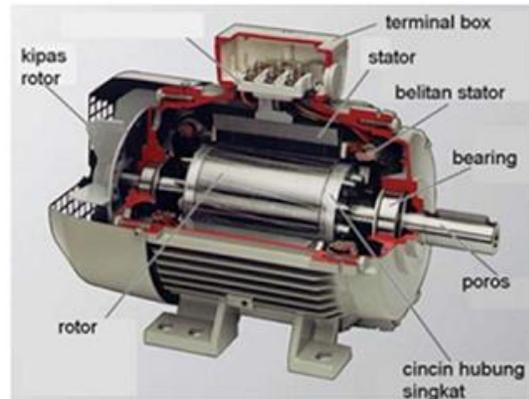
### 2.1 MOTOR INDUKSI 3 ROTOR SANGKAR TUPAI (SQUIRREL-CAGE 3 INDUCTION MOTOR)

Penampang motor induksi tiga fasa rotor sangkar tupai memiliki konstruksi yang sederhana. Inti stator pada motor induksi tiga fasa rotor sangkar tupai terbuat dari lapisan – lapisan pelat baja silikon beralur yang dilapisi isolasi didukung dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau pelat baja yang dipabrikasi. Lilitan – lilitan kumparan stator diletakkan dalam alur stator yang terpisah 120 derajat listrik. Lilitan fasa ini dapat tersambung dalam hubungan delta (  $\Delta$  ) ataupun bintang (  $Y$  ).

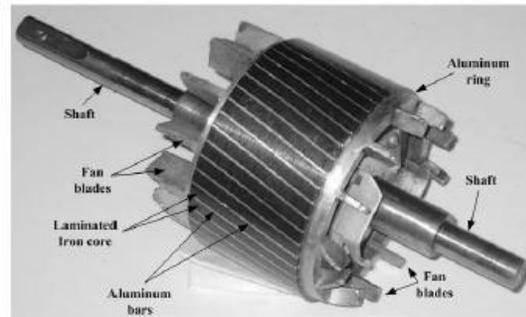
Inti rotor diberi alur-alur untuk tempat batangan-batangan tembaga atau aluminium yang ujung-ujungnya dihubungkan singkat dengan cincin kedua sisinya, sehingga berbentuk sangkar. Konstruksi dan bahan batangan-batangan sangkar ini menentukan karakteristik motor.

Batang rotor motor sangkar tupai tidak selalu ditempatkan paralel terhadap poros motor tetapi kerap kali dimiringkan. Hal ini akan menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi derau dengung magnetik sewaktu motor sedang berputar. Pada ujung cincin penutup dilekatkan sirip yang berfungsi sebagai pendingin. Rotor jenis rotor sangkar standar tidak terisolasi, karena batangan

membawa arus yang besar pada tegangan rendah.



Gambar 1 Konstruksi Motor Induksi 3 Fasa Rotor Sangkar



Gambar 2 Bagian-bagian rotor sangkar

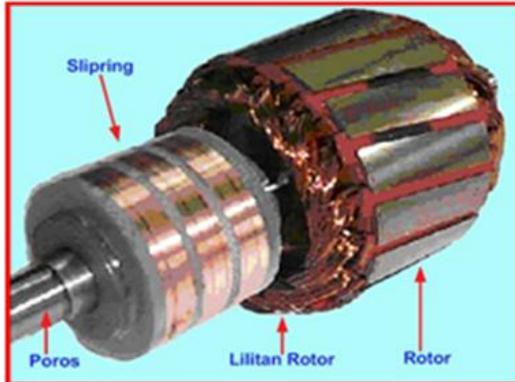
### 2.2 MOTOR INDUKSI 3 ROTOR LILIT (WOUND-ROTOR 3 INDUCTION MOTOR)

Motor induksi rotor lilit berbeda dengan motor induksi rotor sangkar tupai dalam hal konstruksi rotornya. Seperti namanya, rotor dililit dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. Lilitan fasa rotor dihubungkan secara dan masing – masing fasa ujung terbuka yang dikeluarkan ke cincin slip ring yang terpasang pada poros rotor.

Pada motor ini, cincin slip ring yang terhubung ke sebuah tahanan variabel eksternal yang berfungsi membatasi arus pengasutan dan yang bertanggung jawab terhadap pemanasan rotor. Motor ini

putarannya dapat diatur dan biasanya digunakan sebagai penggerak beban-beban yang memerlukan torsi start besar dan bebannya berfluktuasi.

Dibandingkan dengan motor rotor sangkar motor ini efisiensinya lebih rendah, dan mengeluarkan percikan bunga api.



Gambar 3 Bagian-bagian rotor belitan

### III. METODE STARTING MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Motor induksi tiga fasa tidak mengalami masalah *starting* seperti pada motor sinkron. Motor induksi dapat *distarting* langsung hanya dengan menghubungkan dengan sumber tegangan. Namun kadang-kadang untuk pertimbangan yang lebih baik hal ini tidak dilakukan. Sebagai contoh arus *start* yang dihasilkan dapat menyebabkan tegangan „dip” pada sistem tenaga.

Untuk motor induksi tiga fasa rotor lilit, *starting* dapat dilakukan dengan menambahkan tahanan pada belitan rotor melalui cincin slip ring. Penambahan tahanan ini tidak hanya menyebabkan torsi *start* meningkat tetapi juga memperkecil arus *start*.

Untuk motor induksi tipe rotor sangkar, *starting* motor induksi dapat dilakukan dengan banyak cara tergantung pada daya nominal motor dan tahanan efektif rotor saat motor *distart*.

Untuk menentukan arus rotor pada saat *starting*, semua rotor sangkar saat ini mempunyai *code letter* (agar tidak bingung dengan *desgn class motor*) pada *nameplat*nya. *Code letter* menentukan jumlah arus pada saat *start*. Batas ini dinyatakan sebagai fungsi daya kuda (hp). Tabel 1 adalah suatu tabel yang berisi kVA/hp untuk setiap *code letter*.

Untuk menentukan arus *start* suatu motor induksi, baca tegangan nominal daya motor (hp) dan *code letter* dari *nameplate*. Kemudian daya semu motor saat *start* dinyatakan sebagai

$S_{start} = (\text{daya kuda nominal})(\text{faktor code letter})$

Dan arus start dapat ditentukan dengan rumus

$$I_L = \frac{S_{start}}{\sqrt{3}V_T} \quad (\text{Ampere})$$

Tabel 1. Tabel NEMA, kVA/hp untuk setiap *code letter*

NEMA Code Letter	Locked-Rotor kVA per hp
A	0 – 3.15
B	3.15 – 3.55
C	3.55 – 4.00
D	4.00 – 4.50
E	4.50 – 5.00
F	5.00 – 5.60
G	5.60 – 6.30
H	6.30 – 7.10
J	7.10 – 8.00
K	8.00 – 9.00
L	9.00 -10.0
M	10.0 – 11.2
N	11.2 – 12.5
P	12.5 -14.0
R	14.0 – 16.0
S	16.0 -18.0
T	18.0 – 20.0
U	20.0 – 22.4
V	22.4 and up

Ada beberapa metode *starting* motor induksi tiga fasa antara lain:

1. *Starting* langsung (direct on-line starting).
2. *Starting* Wye-Delta.
3. *Starting* dengan Autotransformator
4. *Starting* dengan penambahan tahanan stator.

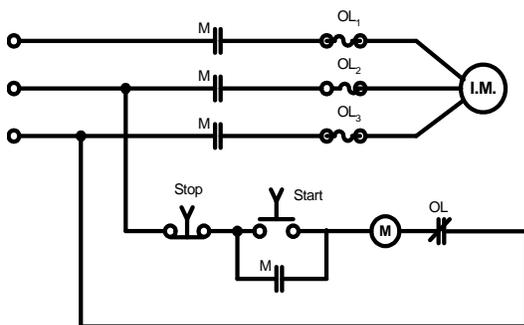
### 3.1 STARTING LANGSUNG (DIRECT ON-LINE STARTING)

Metode ini biasa juga disebut full-voltage starter karena tegangan yang dimasukkan pada motor adalah tegangan yang sesuai dengan tegangan nominal dari motor.

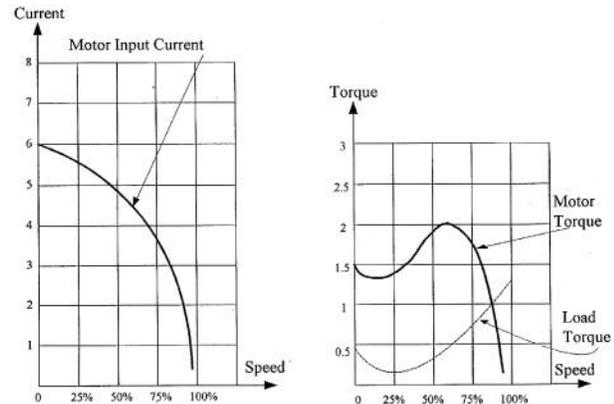
Metode starting DOL ini digunakan bila power supply yang tersedia cukup besar dan pengaruh torsi awal tidak membahayakan beban yang digerakkan

Motor dilengkapi dengan pengaman beban lebih (OL), dimana kontak-kontaknya dihubungkan seri dengan coilnya kontaktor.

Rangkain Kontrol ini bisa dikembangkan dengan pengontrolan dari beberapa tempat, atau motor diberi pengaman yang lebih banyak, dengan memasang seri kontak-kontaknya dalam rangkaian kontrol.



Gambar 4. Rangkaian starting DOL



Gambar 5. Hubungan antara Arus/Torsi/Kecepatan starting DOL

#### Kegunaan

Metode starting DOL merupakan pilihan yang sederhana, yang memerlukan perawatan ringan dan memiliki torsi start yang tinggi. Metode starting ini digunakan bila torsi tinggi yang tinggi tidak akan menyebabkan kerusakan pada beban dan bila sistem daya keseluruhan tidak terpengaruh oleh tuntutan yang tinggi dari motor yaitu, arus starting sampai tujuh kali lipat arus beban penuh.

#### Kelebihan dari metode starting DOL

- ◆ Efektifitas biaya awal
- ◆ Rangkaian dan cara kerja yang sederhana

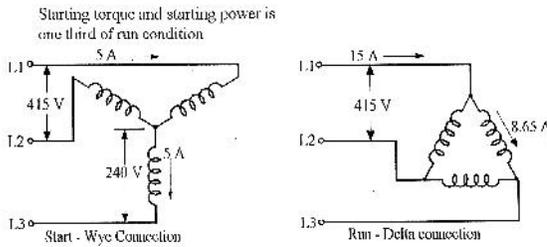
#### Kelemahan dari metode starting DOL

- ◆ Hanya bisa dipakai bagi motor yang berukuran lebih kecil bila ukuran suplai membutuhkan pemakaiannya
- ◆ Arus dan torsi maksimum pada saat pengasutan (bisa juga dimasukkan kedalam faktor kelebihan)

### 3.2 STARTING WYE-DELTA

Metode starting wye-delta digunakan untuk mengurangi arus asut dan torsi asut. Sebuah kumparan motor insuksi pertama-tama dihubungkan dalam bentuk rangkain wye dan selanjutnya dihubungkan pada delta. Untuk melakukan hal ini, motor harus memiliki

enam ujung kumparan stator yang dibawa menuju terminal-terminal motor.

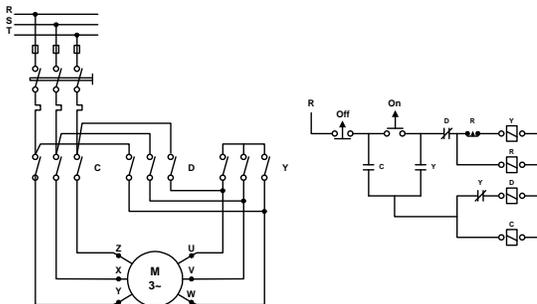


Gambar 6. Perbandingan wye dan delta

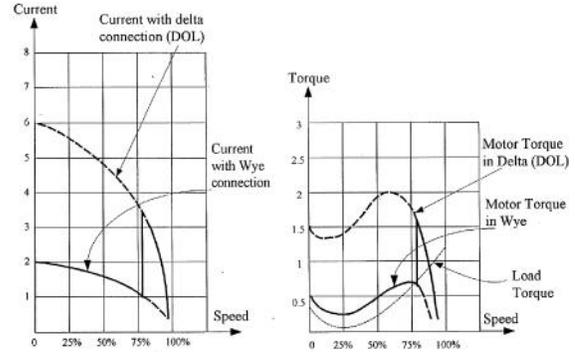
- Bila motor diatas kumparan phase dirancang untuk tegangan  $E_L$ . Kumparan stator dihubungkan delta dan diberi tegangan jala-jala sebesar  $E_L$ . Kalau arus tiap phase besarnya  $I_f$ , maka arus line sebesar  $I_L = \sqrt{3} I_f$ .
- Bila motor yang sama dihubungkan wye dan tetap diberi tegangan jala-jala sebesar  $E_L$ , maka tegangan tegangan tiap phase menjadi  $E_L/\sqrt{3}$ , sehingga arus tiap phase diperkecil menjadi  $I_f/\sqrt{3}$ . Karena  $I_L = I_f$ , maka  $I_L = I_f/\sqrt{3}$ .

Kalau a dan b kita bandingkan didapatkan  $I_L$  hubungan delta :  $I_L$  hubungan wye = 3 : 1.

Starting wye-delta, hanya dilakukan untuk motor-motor induksi 3 phase yang mempunyai hubungan kumparan delta pada kondisi operasi normalnya.



Gambar 7. Rangkaian starting wye-delta



Gambar 8. Hubungan antara Arus/Torsi/Kecepatan starting Wye-Delta

**Kegunaan**

Metode starting wye-delta digunakan bila adanya kebutuhan terhadap waktu akselerasi yang panjang dan start yang berkeseringan. Aplikasi praktis khusus tersebut mencakup beban kelembaman yang tinggi seperti pada unit air conditioning centrifugal.

**Kelebihan**

- ◆ Metode starting yang lebih murah dibandingkan metode Starting Autotransformer
- ◆ Karakteristik kecepatan/arus/torsi yang baik
- ◆ Cocok untuk berbagai jenis motor
- ◆ Mudah dipasang dalam berbagai situasi

**Kelemahan**

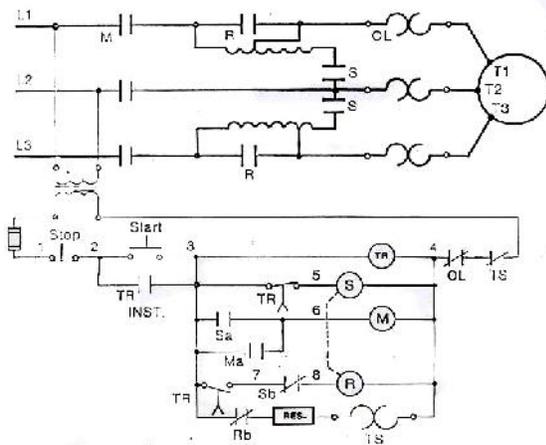
- ◆ Motor harus memiliki enam ujung koil, dalam hal ini, enam terminal
- ◆ Pada jenis transisi terbuka, menghasilkan arus transient

**3.3 STARTING DENGAN AUTOTRANSFORMATOR**

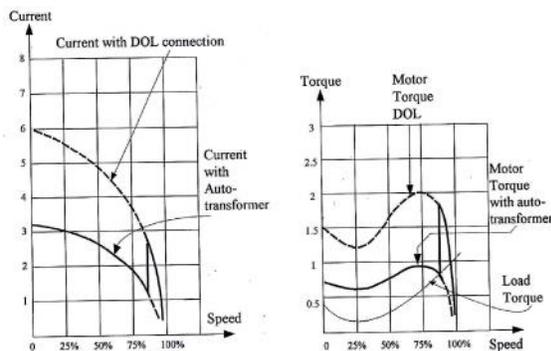
Autotransformator digunakan untuk mengurangi tegangan yang dimasukkan ke stator dari motor induksi dengan jalan mengatur tap dari autotransformator tersebut.

Metode starting ini cukup mahal tetapi juga efektif untuk mengurangi arus start. Selama proses start tegangan terminal dari motor berkurang sesuai proporsional dengan perbandingan kumparan dari transformator. Torsi start dan torsi maksimum berkurang sesuai dengan kuadrat dari perbandingan kumparan dari transformator.

Arus start sebanding dengan perbandingan dari kumparan transformator bila dilihat pada kumparan stator dari motor, sedangkan bila dilihat dari sistem arus start sebanding dengan kuadrat dari ratio transformator.



Gambar 9. Rangkaian metode starting dengan autotransformator



Gambar 10. Hubungan antara Arus/Torsi/Kecepatan untuk starting autotransformator

### Kegunaan

Metode starting autotransformer secara khusus cocok untuk motor-motor berdaya tinggi. Metode ini menyediakan torsi start yang tinggi dengan puncak arus yang lebih rendah. Aplikasi praktis mencakup unit-unit refrigasi berjenis lebih besar dan kompresor-kompresor udara dimana motor harus distart berlawanan dengan tekanan utama substansi yang berat.

### Kelebihan

- ◆ Pengatur (tap) transformer dapat dilakukan untuk batasan beban yang luas
- ◆ Karakteristik torsi terhadap arus alir merupakan suatu nilai yang optimal
- ◆ Motor tidak diputus-hubungkan dari suplai selama perubahan akibat pengaturan (tap), dengan demikian bisa mengurangi transient.

### Kelemahan

- ◆ Mahal
- ◆ Sangat berat dan besar dibandingkan jenis-jenis pengasut lain.

### 3.4 STARTING DENGAN PENAMBAHAN TAHANAN STATOR (RESISTANSI PRIMER)

Metode starting dengan penambahan tahanan stator (resistansi primer) bekerja berdasarkan prinsip penyambungan resistor-resistor dalam rangkaian lilitan motor selama periode starting.

Teganga jatuh sepanjang reistor-resistor menurunkan tegangan pada terminal motor yang selanjutnya membatasi arus start. Torsi dengan begitu juga mengalami pengurangan. Torsi tersebut dibatasi dengan perbandingan yang sama dengan arus.

Pada saat motor telah mencapai kecepatan yang memadai, kira-kira 75% dari kecepatan beban penuh, resistor-

resistor tersebut dipisahkan dan motor dihubungkan secara langsung ke suplai. Resistor-resistor tadi terpisah dalam satu atau dua tahap.

Motor secara permanen dihubungkan dalam delta. Pengasut resistansi primer merupakan jenis pengasut transisi tertutup. Bila sebuah kontaktor menutup dan memisahkan resistor-resistor, motor tetap terhubung suplai.

### Jenis-jenis Starting Resistansi Primer

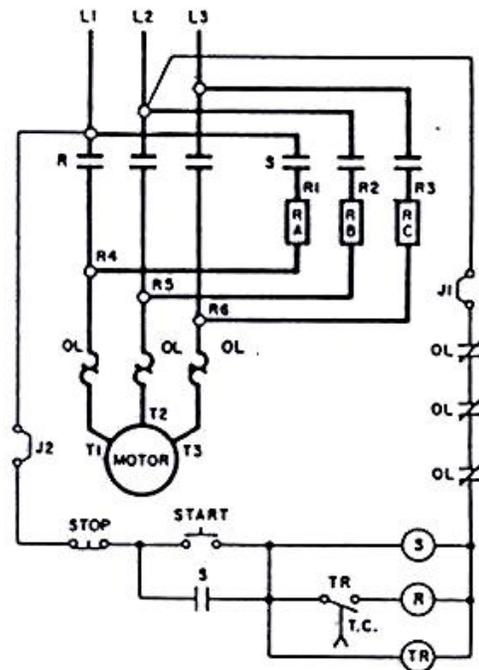
#### 1. Starting resistor metalik

Resistor yang dipakai pada pengasut resistor primer metalik terbuat dari bahan tahanan yang mampu melakukan disipasi terhadap daya (rugi  $I^2R$ ). Resistor tersebut besar secara fisik dan merupakan buangan daya selama periode pengasutan.

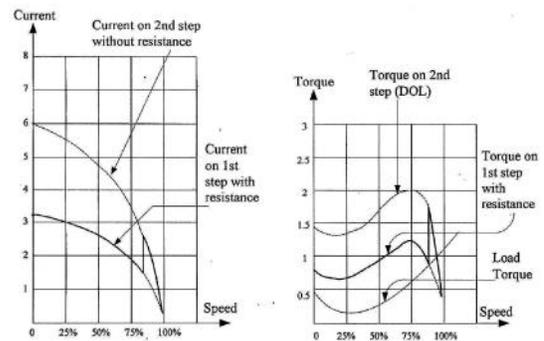
#### 2. Starting resistor cairan (liquid)

Pengasut resistansi primer liquid memakai semacam cairan (electrolyte) di dalam kontainer tidak seperti resistor metalik solid. Resistansi electrolyte lebih rendah karena pada saat arus mengalir electrolyte memanas.

Electroda secara permanen dimasukkan di dalam kontainer untuk menahan electrolyte, yang mana sering bersifat non-corrosive (tidak berkarat), dan kontainer tersebut ditutup. Masing-masing lilitan motor memiliki kontainer dan rangkaian elektroda terpisah.



Gambar 11. Rangkaian daya Starting resistansi primer



Gambar 12. Hubungan antara Arus/Torsi/Kecepatan untuk starting resistansi primer

### Kegunaan

Metode starting resistansi primer terbatas untuk motor-motor yang menggerakkan beban dengan torsi asut (start) yang rendah. Aplikasi jenis ini ditemui pada fan, blower, dan pompa air.

### Kelebihan

- ◆ Daya dan rangkaian kontrol yang sederhana
- ◆ Tidak ada pemutusan pada suplai pada saat motor mengalami peningkatan kecepatan

- ◆ Lebih murah dibandingkan metode starting autotransformer
- ◆ Karakteristik arus dan torsi dikontrol dengan resistansi yang memiliki penahanan yang berkurang

#### Kelemahan

- ◆ Resistor berukuran besar secara fisik
- ◆ Buangan daya selama periode starting
- ◆ Karakteristik arus dan torsi jelek – arus alir relatif tinggi sedangkan torsi rendah

#### IV. KESIMPULAN

1. Metode starting direct on line (DOL), merupakan metode starting yang paling sederhana, memerlukan perawatan ringan dan memiliki ciri torsi start tinggi. Metode starting ini digunakan bila torsi tinggi yang tinggi tidak akan menyebabkan kerusakan pada beban dan bila sistem daya keseluruhan tidak terpengaruh oleh tuntutan yang tinggi dari motor yaitu, arus starting sampai tujuh kali lipat arus beban penuh.
2. Metode starting wye-delta digunakan bila adanya kebutuhan terhadap waktu akselerasi yang panjang dan start yang

berkeseringan. Metode starting ini sangat efektif menurunkan arus start sampai 1/3 arus start metode starting DOL. Metode ini cocok untuk berbagai jenis motor dengan karakteristik kecepatan/arus /torsi yang baik.

3. Metode starting autotransformer secara khusus cocok untuk motor-motor berdaya tinggi. Metode ini menyediakan torsi start yang tinggi dengan puncak arus yang lebih rendah, dimana besarnya arus start sebanding dengan kuadrat dari ratio transformator.
4. Metode starting dengan penambahan tahanan stator (resistansi primer) bekerja berdasarkan prinsip penyambungan resistor-resistor dalam rangkaian lilitan motor selama periode starting. Metode starting ini terbatas untuk motor-motor yang menggerakkan beban dengan torsi start yang rendah

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Chapman Stephen J, "*Elektrik Machinery Fundamentals*" Fourth Edition Mc Graw Hill Companies, New York,2005.
2. Fitzgerald, A.E, Charles Kingsley, Jr., Stephen D. Umans, "*Mesin-Mesin Listrik*", Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta,1984.
3. Frank, D. Petruzella. *Industrial Electronics*. New York: McGraw-Hill Book Company,1984.
4. McPherson, George "*An Introduction To Electrical Mechines And Transformers*", Jhon Wiley & sons, Inc, Canada, 1981.
5. Smeaton, Robert, W. *Motor Application and Maintenance Handbook*.New York: McGraw-Hill Book Company, 1984.
6. Theodore Wildi, *Electrical Machines, Drives andPower Systems 3rd*,Prentice Hall Inc, New Jersey,1997.
7. Theraja, B.L, "*A Text-Book Of Electrical Technology*", Nurja Construction & Development, New Delhi,1989.

\*) Ali Supriyadi adalah pejabat fungsional Widyaiswara