

ANALISA PENGASUTAN STAR - DELTA MOTOR INDUKSI TIGA PHASA

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Rahmat Rezeky Ramadhan
Email : rahmat.97@hotmail.com // rahmatrezeky.97@gmail.com

INTISARI

Penggunaan Motor Induksi dalam proses produksi di PT. Madu Baru sangat dibutuhkan kegunaanya sebagai penggerak, Kendala dari penggunaan motor induksi tersebut salah satunya dari starting, hal ini disebabkan oleh arus yang dibutuhkan Motor Induksi pada saat start sangatlah besar. Oleh karena itu, untuk mengatasinya diperlukan starter agar tidak mengganggu peralatan produksi disekitarnya maupun Motor induksi itu sendiri. Motor yang digunakan disini adalah Motor Hammer Mill dengan kapasitas 95 KW/ 125 HP. Metode pengasutan yang digunakan untuk starting motor tersebut adalah Pengasutan Star - Delta. Dari hasil perhitungan ini didapat hasil antarlain: $I_{L(Y)} = 93,896 \text{ A}$, $I_{L(\Delta)} = 280,9 \text{ A}$ $p=2$ (jumlah kutub), I_L beban penuh = 107,7 A, I_L tanpa beban = 332,5 A, rating MCB = 252 A dan Thermal Over Load = 193 A.

Kata kunci: Pengasutan, Motor Induksi tiga fasa.

DASAR TEORI

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Mesin – mesin listrik menempati peranan penting dalam sebuah industri atau pabrik, motor induksi ini digunakan sebagai penggerak alat produksi, penggunaan motor induksi dalam proses produksi memiliki beberapa kelebihan misalnya, dengan menggunakan motor induksi pelaksanaan produksi menjadi lebih mudah dan waktu yang digunakan dalam proses produksi menjadi lebih singkat. Adapun mesin listrik itu seperti motor induksi tiga fasa yang prinsip kerjanya dengan cara mengubah energi listrik menjadi energi gerak.

Motor induksi tiga fasa secara umum dapat dioperasikan secara langsung dengan menghubungkannya dengan tungan yang bersumber langsung dari PLN, akan tetapi pengoperasian dengan cara ini memiliki kendala pada saat starting, dimana motor membutuhkan arus lebih besar pada saat start yaitu 5 sampai 7 kalilipat dari arus nominal, hal ini dapat menyebabkan tegangan pada sistem secara keseluruhan menurun yang dapat menyebabkan kinerja peralatan lain maupun motor itu sendiri terganggu, oleh karena itu dibutuhkan cara untuk mengatasi masalah tersebut, salah satunya adalah dengan melakukan pengasutan, terdapat beberapa jenis pegasutan yang biasa dipakai diindustri contohnya seperti Pengasutan Star – Delta yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini.

1. Motor Induksi Tiga Fasa

A. Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa

Arus listrik yang mengalir dalam suatu medan magnet dengan kerapatan fluks akan menghasilkan suatu gaya.

$$F = B \cdot i \cdot l \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

F= Gaya (Nm)

B= Kerapatan fluks (Wb)

I = Arus (A)

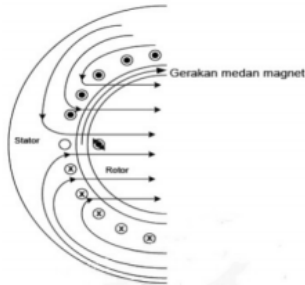
L= Konduktor (G)

Motor induksi adalah peralatan yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Perubahan tersebut tergantung dari keberadaan fenomena alami magnet, gaya mekanis, gaya gerak dan medan listrik. Arus yang mengalir pada belitan rotor ini akan menghasilkan suatu medan magnet yang berputar pada kecepatan sinkron (Ns), medan magnet ini yang kemudian akan memotong belitan rotor sehingga pada belitan rotor terinduksi tegangan seperti pada tegangan yang terinduksi pada belitan sekunder transformator oleh fluks yang dihasilkan oleh arus pada belitan primer.

Rangkaian rotor ini merupakan rangkaian yang tertutup, tertutup baik melalui cincin maupun melalui tahanan luar, tegangan yang terinduksi akan menghasilkan arus yang mengalir pada belitan, kemudian arus yang mengalir ini berada dalam medan magnet yang dihasilkan oleh stator sehingga pada lilitan rotor dapat menghasilkan torsi (τ), jika nilai torsi dari motor lebih kecil dari nilai torsi pada beban,

maka motor akan berputar dalam kecepatan yang sinkron (N_r).

Gambar dibawah ini menggambarkan penampang stator dan rotor motor induksi, dengan medan magnet diumpamakan berputar searah jarum jam.



Gambar 2. Medan magnet dalam celah udara antara Rotor dan Stator

Dari arah fluksi dan gerak yang ditunjukkan seperti pada gambar diatas, penggunaan kaidah tangan kanan fleming menunjukan arus induksi dalam konduktor menuju pembaca, pada kondisi tersebut konduktor yang mengalirkan arus berada pada medan magnet seperti yang ditunjukkan, gaya yang ditunjukkan pada konduktor mengarah keatas karena medan magnet yang berda dibawah konduktor lebih akurat dibanding yang diatas, Agar lebih sederhana, hanya satu konduktor rotor yang diperlihatkan, akan tetapi konduktor – konduktor yang lain dalam medan stator juga mengalirkan arus dalam arah seperti pada konduktor yang ditunjukkan, pada setengah siklus berikutnya, arah medan stator akan dibalik, kemudian arus rotor juga akan dibalik sehingga gaya pada rotor tetap keatas, demikian pula pada konduktor rotor dibawah kutub – kutub medan stator lain akan memiliki gaya yang semuanya cenderung memutarakan rotor kearah sepeti jarum jam, apabila kopel yang

dihasilkan cukup besar untuk mengatasi kopel beban yang menahan, maka motor akan melakukan percepatan putaran searah jarum jam atau dalam arah yang sama dengan stator.

Untuk memperjelas prinsip kerja dari motor induksi, dapat dilihat dari penjabaran dibawah ini:

- a. Belitar stator akan menghasilkan arus pada tiap fasanya apabila pada ujung belitanya dihubungkan dengan tegangan sumber tiga fasa.
- b. Fluks yang dihasilkan dari arus yang mengalir pada setiap fasa stator akan berubah terhadap waktu.
- c. Amplitudo fluks yang bersumber dari fasa stator akan berubah secara sinusiodal yang arahnya tegak lurus terhadap belitan.
- d. Besarnya nilai (N_s) dipengaruhi oleh banyaknya jumlah kutub (p) dan fekuensi (f), yang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$N_s = \frac{120 \cdot f}{p} \text{ (rpm)} \dots \dots \dots (2.2)$$

Fluks yang berputar akan menimbulkan tegangan induksi pada belitan stator, yang besarnya dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$e_1 = \frac{d\phi}{dt} \text{ (volt) atau } E_1 = 4,44 f N_1 \phi_{\max} \text{ (volt)} \dots \dots \dots (2.3)$$

Selain menghasikan tegangan induksi pada stator, Fluks tersebut juga memotong belitan rotor yang menghasilkan tegangan induksi (e_2) sebesar E_2 , dan besarnya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$e_1 = \frac{d\Phi}{dt} \text{ (volt)} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$E_1 = 4,44 f N_2 \phi_{\max} \text{ (volt)} \dots\dots(2.5)$$

Dimana:

E_2 = tegangan induksi pada rotor saat rotor dalam keadaan diam (volt)

N_2 = jumlah lilitan kumparan rotor

ϕ_{\max} = fluksi maksimum (Wb)

- e. Akibat dari rangkaian rotor yang tertutup, maka tegangan induksi tersebut menghasilkan arus I_2 .
- f. Arus I_2 ini terdapat pada medan magnet yang dihasilkan oleh stator, sehingga pada belitan rotor akan menghasilkan gaya (F).
- g. Gaya (F) ini menghasilkan torsi (τ), apabila torsi yang dihasilkan ini lebih besar dari torsi beban, maka rotor akan berputar dengan kecepatan yang sinkron.
- h. Perbedaan kecepatan putar antara rotor (N_r) dengan stator (N_s) disebut slip (S), dan dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

Dalam kondisi sedang berputar, tegangan yang diinduksikan pada rotor akan dipengaruhi oleh slip (s). Dan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$E_{2s} = 4,44 f N_2 \phi_{\max} \text{ (volt)} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$E_{2s} = sE_2 \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

E_{2s} = tegangan pada rotor (volt)

$f_2 = s.f$ = frekuensi rotor (Hz)

- i. Nilai frekuensi pada rotor (f_2) dan reaktansi rotor (X_2) dapat dipengaruhi oleh slip (s), yang dinyatakan dengan s f dan sX_2 .

- j. Besar dan kecilnya nilai slip dipengaruhi oleh kecepatan antara stator dengan rotor.

B. Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa

Efisiensi dari motor induksi adalah ukuran dari keefektifan motor induksi untuk merubah energi listrik menjadi energi mekanis yang dinyatakan sebagai perbandingan antara input dengan output atau dalam dunia listrik berupa perbandingan watt masukan dengan watt keluaran.

Menurut definisi dari NEMA, efisiensi energi adalah rasio atau perbandingan antara daya output yang berguna terhadap input total, dan pada umumnya dinyatakan dalam persen (%) dan dapat juga dinyatakan dalam perbandingan antara output dengan input yang kemudian ditambah rugi – rugi. Dan dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.9)$$

Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa besarnya rugi – rugi dapat mempengaruhi efisiensi dari motor, rugi – rugi dari persamaan tersebut adalah merupakan penjumlahan dari keseluruhan komponen rugi – rugi yang dibahas sebelumnya. Pada motor induksi pengukuran efisiensi dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti:

- Mengukur langsung daya listrik masukan dan daya mekanis keluaran.
- Mengukur secara langsung seluruh rugi – rugi dan daya masukan.
- Dan mengukur setiap komponen rugi – rugi dan daya masukan.

C. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Tiga Fasa

Fasa

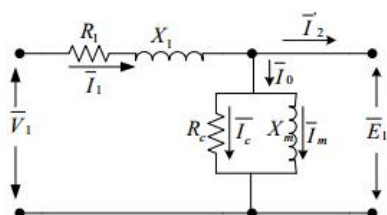
Untuk menentukan rangkaian ekuivalen dari motor induksi tiga fasa, hal pertama yang harus diperhatikan adalah keadaan pada stator, Gelombang fluks pada celah udara yang berputar serempak membangkitkan ggl lawan tiga fasa yang seimbang didalam fasa – fasa stator. Besarnya tegangan terminal stator berbeda dengan ggl lawan sebesar jatuh tegangan pada impedensi stator, sehingga dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$V_1 = E_1 + I_1 (R_1 + jX_1)\text{Volt} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

- V_1 = Tegangan terminal stator (Volt)
- E_1 = ggl lawan yang dihasilkan oleh fluks celah udara resultan (Volt)
- I_1 = Arus stator (Ampere)
- R_1 = Resistansi efektif (Ohm)
- jX_1 = Reaktansi bocor stator (Ohm)

Arus pada stator (I_1) terbagi dua, yaitu I_2' dan I_0 . Arus I_0 ini terbagi menjadi dua komponen, yaitu komponen pemagnet I_m dan komponen beban I_c . Arus I_m akan menghasilkan medan magnet atau fluks pada celah udara, sedangkan arus I_c akan menghasilkan rugi – rugi inti. Arus I_c ini sefasa degan E_1 sedangkan arus pemagnet I_m ketinggalan terhadap E_1 sebesar 90° , sehingga dapat dibuat rangkaian ekuivalen pada stator seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. 2 Rangkaian Ekuivalen pada stator

Pada motor rotor belitan, jika belitan yang dililit sama banyaknya degan jumlah kutub dan fasa stator. Jumlah efektif tiapa fasa pada lilitan satator banyaknya a kali jumlah lilitan rotor, bandingkan efekmagnetis rotor ini dengan yang terdapat pada rotor ekuivalen magnetik yang mempunyai jumlah lilitan yang sama seperti rotor. Untuk kecepatan dan fluks yang sama, hubungan antara tegangan E_2 dimbaskan pada rotor yang sebenarnya dan tegangan E_2 yang diimbaskan pada rangkaian ekuivalen adalah:

$$E_2' = aE_2 \dots \dots \dots (2.13)$$

Bila rotor – rotor akan diganti secara magnetis, lilitan Ampere masing – masing harus sama, dan hubungan antara arus rotor sebenarnya I_2 dan arus I_2' pada rotor ekuivalen haruslah seperti berikut:

$$I_2' = \frac{I_2}{a} \dots \dots \dots (2.14)$$

Akibatnya hubungan antara impedensi yang bocor Z_2' dari rotor ekuivalen dan impedensi bocor Z_2 dari rotor haruslah seperti berikut:

$$Z_2' = \frac{E_2'}{I_2'} = \frac{a^2 E_2}{I_2} \text{(Ohm)} \dots \dots \dots (2.15)$$

Karena rotor dihubung singkat, hubungan fasor antara ggl, frekuensi, slip dan E_2' yang dibangkitkan pada fasa patokan dari rotor patokan dan arus I_2' pada fasa tersebut adalah:

$$Z_2 = \frac{E_2}{I_2} = \dots \dots \dots (2.16(a))$$

$$Z_2' = \frac{E_2'}{I_2'} = \dots \dots \dots (2.16(b))$$

Dimana:

- Z_2 = Impedensi bocor frekuensi slip yang berpatokan pada stator (Ohm)
- R_2 = Tahanan rotor (Ohm)
- $j_s X_2$ = Reaktansi bocor pada frekuensi slip (Ohm)

Reaktansi yang didapat dari persamaan diatas dinyatakan dengan cara demikian karena sebanding dengan frekuensi pada rotor dan slip. Jadi X_2 didefinisikan sebagai harga yang akan dimiliki oleh reaktansi bocor pada rotor dengan patokan pada frekuensi stator.

Pada stator terdapat gelombang fluks yang berputar dengan kecepatan sinkron. Gelombang fluks ini akan mengimbaskan tegangan pada rotor dengan frekuensi slip sebesar E_{2s} . Karena kecepatan relatif gelombang fluks terhadap rotor adalah s kali kecepatan terhadap stator, hubungan antara ggl efektif rotor adalah:

$$E_{2s} = sE_2 \dots \dots \dots (2.17)$$

Dan

$$I_{2s} = I_2 \dots \dots \dots (2.18)$$

Dengan membagi persamaan (2.17) dengan persamaan (2.18) sehingga didapatkan

$$\frac{E_{2s}}{I_{2s}} = \frac{sE_2}{I_2} \dots \dots \dots (2.19)$$

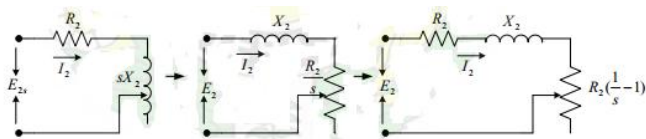
Didapat hubungan antara persamaan (2.18) dengan persamaan (2.19), yaitu

$$\frac{E_{2s}}{I_{2s}} = \frac{sE_2}{I_2} = R_2 + jsX_2 \dots \dots \dots (2.20)$$

Dan dengan membagi persamaan (2.19) dengan s , maka akan didapat

$$\frac{E_2}{I_2} = \frac{R_2}{s} = jX_2 \dots \dots \dots (2.21)$$

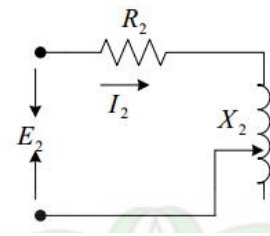
Dari persamaan (2.15), (2.16) dan (2.20) maka rangkaian ekivalen pada rotor dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. 3 Rangkaian ekivalen pada sisi rotor dalam keadaan berputar

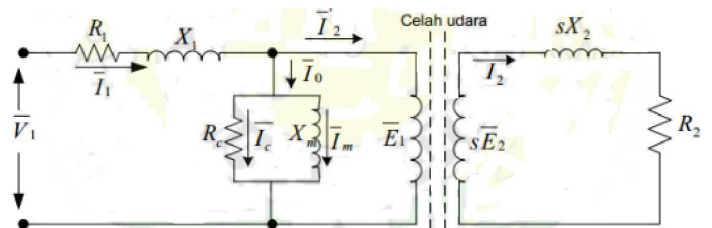
$$\frac{R_2}{s} = R_2 + R_2\left(\frac{1}{s} - 1\right) \dots \dots \dots (2.22)$$

Pada saat rotor akan berputar, tegangan yang diinduksikan pada belitan rotor sebagai E_2 (tegangan induksi pada rotor sebelum dipengaruhi oleh slip (s)). Sehingga rangkaian ekivalen pada rotor dapat digambarkan sebagai berikut:



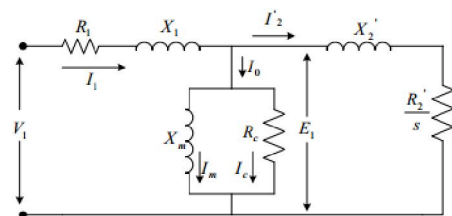
Gambar 2. 4 Rangkaian ekivalen pada rotor saat akan berputar

Dari penjelasan rangkaian ekivalen pada stator dan rotor diatas, maka dapat dibuat rangkaian ekivalen motor induksi tiga fasa pada masing – masing fasanya. Perhatikan gambar dibawah ini.



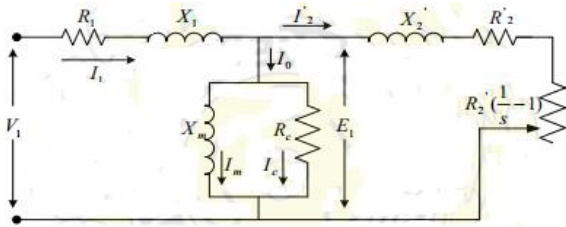
Gambar 2. 5 Rangkaian ekivalen motor induksi setelah berputar

mempermudah perhitungan, maka rangkaian ekivalen pada gambar diatas dapat dilihat dari sisi stator, maka rangkaian ekivalen motor induksi tiga fasa akan dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. 6 Rangkaian ekivalen per fasa motor induksi dari sisi stator

Atau seperti gambar berikut



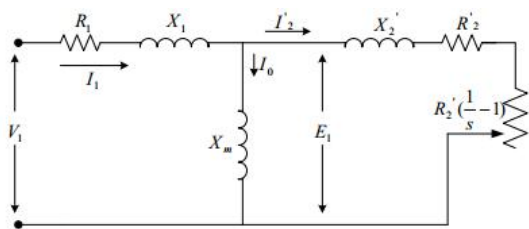
Gambar 2. 7 Bentuk lain Rangkaian ekivalen motor induksi dari sisi stator

Dimana:

$$X'2 = \alpha^2 X2 \dots \dots \dots (2.23)$$

$$R'2 = \alpha^2 R2 \dots \dots \dots (2.24)$$

Dalam teori Transformator – satatika, analisa rangkaian ekivalen sering disederhanakan dengan cara mengabaikan seluruh cabang penalaran atau melakukan pendekatan dengan memindahkan langsung ke terminal primer. Pendekatan yang demikian tidak dibenarkan dalam motor induksi yang bekerja dalam kondisi normal, karena adanya celah udara yang menjadikan perlunya satu arus pemagnet yang sangat besar dan karena reaktansi bocor juga perlu lebih tinggi. Untuk itu dalam rangkaian ekivalen R_c dapat dihilangkan (diabaikan). Dan untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. 8 Rangkaian ekivalen motor induksi dari sisi stator dengan mengabaikan R_c

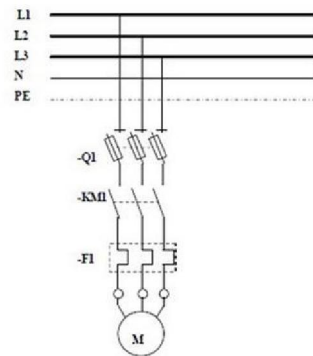
2. Pengasutan

Masalah pengasutan motor induksi tiga fasa umumnya terdapat pada motor induksi dengan kapasitas besar, Pada saat Star motor induksi kapasitas besar membutuhkan arus listrik yang sangatlah besar sehingga arus yang dibutuhkan sangatlah besar, Walaupun waktunya cukup

singkat tetapi akan menimbulkan lonjakan tegangan pada jaringan listrik, lonjakan tersebut bisa menyebabkan terganggunya jaringa listrik secara menyeluruh yang dapat menyebabkan pemutus danyanya terlepas (trip), Adapun macam pengasutan yang umum dipakai adalah sebagai berikut:

A. Pengasutan Langsung (DOL)

Pengasutan Langsung ini pada umumnya diterapkan pada motor induksi dengan kapasitas yang relatif kecil, atau dengan mempertimbangkan apabila pengasutan ini dilakukan tidak akan mengganggu jaringan listrik ataupun motor itu sendiri, pengasutan langsung yang dimaksud adalah tegangan jala – jala/line yang dihubungkan langsung keterminal motor melalui rangkaian pengendali mekanik atau dengan relay kontaktor magnet. Dan untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

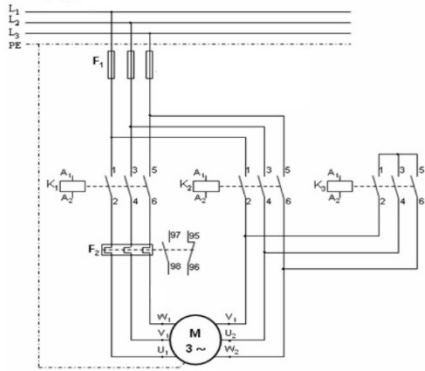


Gambar 2. 9 Pengasutan langsung

(Sumber : <http://209.97.160.224/gambar-motor-induksi.html>)

B. Pengasutan Star – Delta

Cara kerja dari metoda ini adalah pada saat start motor dalam kondisi terhubung star kemudian setelah motor dalam kondisi normal/berputar maka akan secara otomatis terhubung delta. Agar lebih jelas dapat dilihat dari gambar dibawah ini:

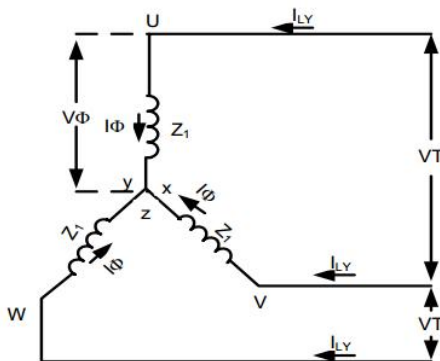


Gambar 2. 10 Pengasutan star – delta
(Sumber : <http://jagootomasi.com/>)

Start dengan metode Star – Delta ini memanfaatkan penurunan tegangan yang dicatu ke motor saat stator motor terhubung dalam rangkaian bintang (star). Pada waktu start, yakni pada saat stator berada pada rangkaian bintang, arus motor hanya mengambil sepertiga dari arus motor seandainya motor di start dengan metode DOL. Berhubung torsi motor berbanding lurus dengan kuadratis dari tegangan, maka dengan demikian torsi motor pada rangkaian bintang juga hanya sepertiga dari torsi pada rangkaian delta.

Adapun hubungan antara arus dan tegangan pada rangkaian star – delta dapat dijelaskan pada persamaan dibawah ini:

- Hubung Star (Y)



Gambar 2. 11 Hubung star (Y)

Persamaan arus phasanya:

$$I_{\phi Y} = \frac{V_{\phi Y}}{Z} \dots \dots \dots (2.25)$$

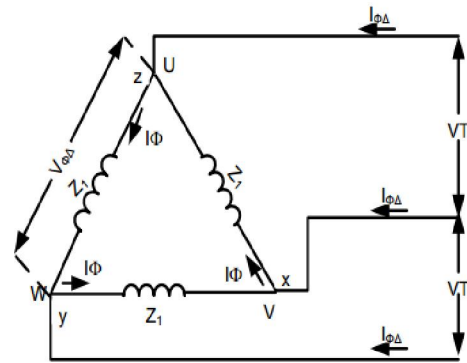
Dalam hubungan star (Y) berlaku persamaan

$$V_T = \sqrt{3} \times V_{\phi Y} \dots \dots \dots (2.26)$$

$$V_{\phi Y} = \frac{V_T}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (2.27)$$

$$I_{LY} = \frac{V_{\phi Y}}{Z} = \frac{V_T}{\sqrt{3} \times Z} \dots \dots \dots (2.28)$$

- Hubung Delta (Δ)



Gambar 2. 12 Hubung Delta (Δ)

Persamaan arus phasanya:

$$I_{\phi \Delta} = \frac{V_{\phi \Delta}}{Z} \dots \dots \dots (2.29)$$

Dalam hubungan delta (Δ) berlaku persamaan

$$V_{\phi \Delta} = V_T \dots \dots \dots (2.30)$$

$$I_{L \Delta} = \sqrt{3} \times I_{\phi \Delta} = \sqrt{3} \times \frac{V_{\phi \Delta}}{Z} = \sqrt{3} \times \frac{V_T}{Z} \dots \dots \dots (2.31)$$

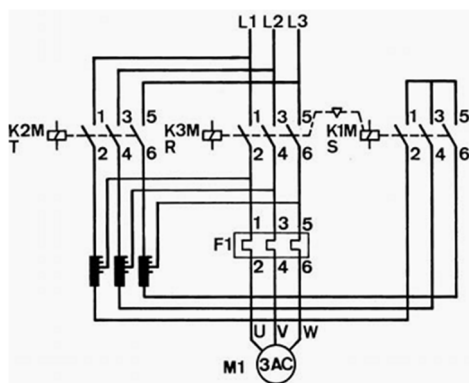
Adapun perbandingan arus dalam hubung star (Y) dan arus dalam hubung (Δ) dapat dilihat dari persamaan dibawah ini:

$$\frac{I_{LY}}{I_{L \Delta}} = \frac{\frac{V_{\phi Y}}{Z}}{\sqrt{3} \times \frac{V_T}{Z}} = \frac{\sqrt{3}}{3} \times \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{1}{3} \dots \dots \dots (2.32)$$

C. Pengasutan Auto Transformator

Metode ini menggunakan dua buah auto trafo yang terhubung open delta, dengan menggunakan metode pengasutan ini maka tegangan dari motor yang melalui terminal dapat diturunkan selama periode start, dan apabila

kecepatan dari motor sudah mendekati kecepatan normal atau lebih/kurang 80% maka tegangan dari Auto Transformator tersebut akan secara otomatis terputus yang kemudian diganti dengan tegangan langsung dari jala - jala. Di dunia industri pengasutan ini banyak digunakan karena biaya yang relatif murah, meskipun pada kenyataannya arus nya tidak seimbang selama periode start, akan tetapi hal ini tidaklah menjadi masalah karena arus yang tidak seimbang hanya 15% yang kemudian akan seimbang saat kecepatan putar tercapai, dan untuk lebih jelasnya metode ini dapat dilihat seperti pada gambar dibawah ini:

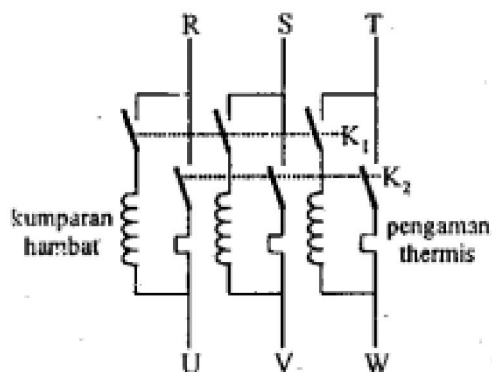


Gambar 2. 13 Pengasutan auto transformator

(Sumber : <https://electrical-engineering-portal.com/starting-motor-with-auto-transformer>)

D. Pengasutan Kumputan Hambat Stator

Pengasutan kumputan hambat stator adalah pengasutan yang menghubungkan antara kumputan hambat dengan kumputan pada stator.

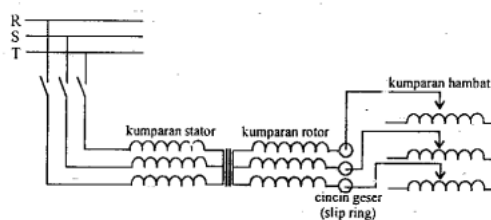


Gambar 2. 14 Pengasutan kumputan hambat stator

Cara instalasi dari pengasutan jenis ini adalah dengan menghubungkan sumber listrik tiga fasa ke terminal R, S dan T sedangkan untuk terminal U, V, dan W akan dihubungkan ke terminal stator. Adapun cara kerja dari pengasutan ini adalah saat pertamakali anak kontak Rule/Kontaktor K1 terhubung maka motor akan mendapat suplai daya dari sumber listrik, kemudian saat kumputan stator telah mendapat tegangan penuh, maka K2 akan terhubung sedangkan K1 akan terputus secara otomatis.

E. Pengasutan Kumputan/Tahanan Hambat Rotor

Untuk pengasutan kumputan/tahanan hambat rotor ini hanya bisa diterapkan pada motor induksi dengan jenis rotor belitan, kumputan pada rotor ini memiliki jumlah kutub yang sama dengan kumputan stator, dan merupakan pengasutan eksternal yang terhubung dengan kumputan stator, untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari gambar dibawah ini:



Gambar 2. 15 Pengasutan kumputan/Tahanan hambat rotor

METODE PENELITIAN

1. Metode Penelitian

Dengan begitu luasnya penggunaan Motor induksi tiga fasa pada Industri, maka banyak dilakukan penelitian untuk mengatasi lonjakan arus pada saat starting, beberapa metode pengasutan yang digunakan untuk mengatasinya antara lain

pengasutan Star – Delta, pengasutan jenis inilah yang akan dianalisa dalam skripsi ini.

2. Objek Penelitian

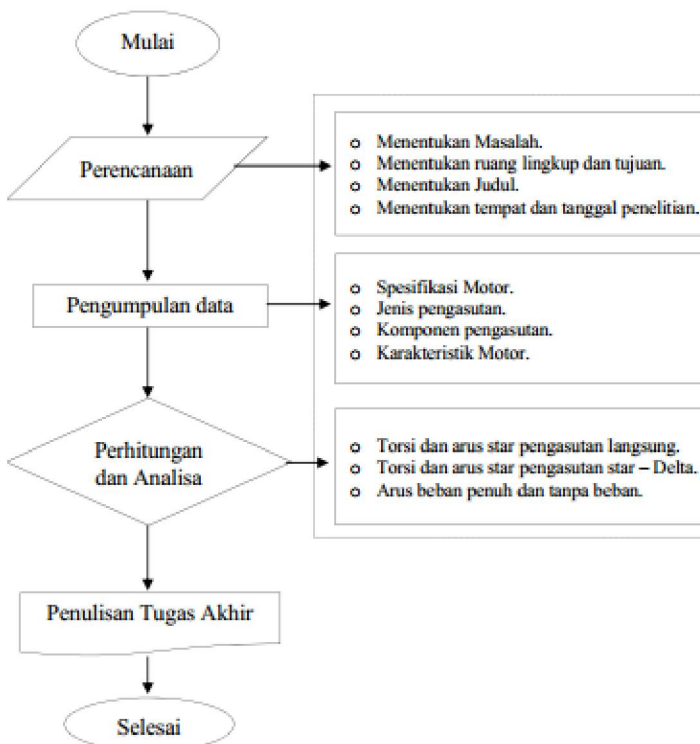
Dalam hal ini motor yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Spesifikasi motor

Nama	Hammer Mill
Tipe rotor	Belitan
Merk	TECO
HP	125 HP
V	380 V
Ampere	168 A
F	50 Hz
Rpm	2900 ppm tanpa beban 2860 ppm beban penuh

3. Tahapan Penelitian

Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini, dimulai dari perencanaan, pengumpulan data, perhitungan dan analisa kemudian yang terakhir penulisan tugas akhir ini, dan untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari Flowchart dibawah ini.



Gambar 2. 16 Flowchart metode penelitian

A. Perencanaan

Tahap perencanaan merupakan tahap awal dalam penelitian. Ada beberapa hal yang ditentukan dalam tahap perencanaan ini, yaitu:

a. Menentukan masalah

Permasalahan merupakan kunci utama kenapa tugas akhir ini dibuat. Tugas akhir ini dibuat untuk menyelesaikan permasalahan yang ada. Dalam proses perumusan masalah, peneliti melakukan observasi untuk melihat secara langsung kondisi pengasutan motor yang ada di PT. Madubaru.

b. Menentukan ruang lingkup dan tujuan

Penentuan ruang lingkup ini dilakukan agar penelitian lebih terarah, sedangkan tujuan merupakan sasaran yang akan dicapai dalam penyusunan tugas akhir ini.

c. Menentukan Judul

Judul akan menggambarkan isi dari tugas akhir ini. Berdasarkan permasalahan yang ada, maka dapat disimpulkan judul untuk tugas akhir ini adalah “Analisa pengasutan Start – Delta motor induksi tiga fasa”.

B. Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini digunakan dua metode dalam pengumpulan data. Adapun metode penelitian yang digunakan ini adalah sebagai berikut:

a. Penelitian Kepustakaan

Penelitian kepustakaan adalah dengan membaca Buku dan Jurnal - Jurnal yang berhubungan dengan pembahasan, sehingga dengan penelitian kepustakaan ini diperoleh secara teori mengenai permasalahan yang akan dibahas.

b. Penelitian Lapangan

Dalam penelitian ini ada dua metode yang digunakan untuk mengumpulkan data yaitu:

i. Metode Interview

Metode interviw ini adalah mengajukan pertanyaan secara langsung pada saat motor beroperasi, Metode ini bertujuan untuk memperoleh penjelasan tentang data – data yang dipelajari dengan metode pengamatan.

ii. Metode Observasi

Pengamatan secara langsung terhadap objek dengan melihat secara langsung pengasutan yang digunakan. Metode berguna untuk mendapatkan gambaran dan data – data yang jelas.

4. Perhitungan dan Analisa Data

Metode yang digunakan untuk menganalisa data ini adalah metode kuantitatif, metode kuantitatif adalah mendalami cara kerja serta membandingkan implementasi pengasutan Star - Delta motor induksi tiga fasa, kemudian untuk menarik kesimpulan, menggunakan metode deduktif dimana data yang telah terkumpul diolah secara selektif dan sistematis, yang kemudian ditariklah sebuah kesimpulan akhir yang khusus dimana merupakan kristalisasi dari hasil analisis pada penelitian dengan tanpa menggunakan rumusan statistik.

5. Penulisan Tugas Akhir

Pada tahap ini yang dilakukan adalah Melakukan proses dokumentasi secara tertulis dalam bentuk sebuah Tugas Akhir untuk lebih memperjelas hasil dari penelitian tentang “Analisa pengasutan Star - Delta motor induksi tiga Fasa”.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Penelitian

A. Umum

Proses produksi merupakan suatu cara untuk mengubah barang atau jasa agar nilainya bertambah, dan dalam hal ini motor induksi digunakan sebagai penggerak alat produksi seperti mesing penggiling, pompa air dan lain – lain, Penggunaan motor induksi ini memiliki beberapa keuntungan antara lain:

- Proses produksi lebih cepat.
- Harga motor yang relatif murah.
- Konstruksi yang sederhana, kuat serta dapat diandalkan.
- Memiliki efisiensi yang tinggi.
- Perawatan yang minimum.

Analisa dan perhitungan akan dimulai dari perhitungan jumlah kutub dan besarnya nilai slip.

B. Spesifikasi Motor

Tabel 4. 2 Spesifikasi motor

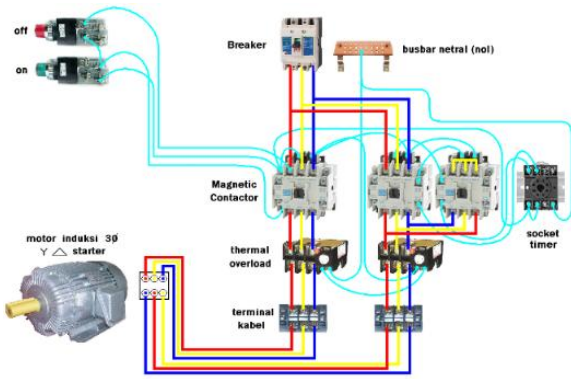
Nama	Hammer Mill
Tipe rotor	Belitan
Merk	TECO
HP	125 HP
V	380 V
Ampere	168 A
F	50 Hz
Rpm	2900 ppm tanpa beban 2860 ppm beban penuh

$$\begin{aligned} R_1 &= 0,32 \Omega & X_1 &= 1,12 \Omega \\ R_2' &= 0,37 \Omega & X_2' &= 1,12 \Omega \\ R_c &= 131 \Omega & X_m &= 15,32 \Omega \end{aligned}$$

C. Pengasutan

Pengasutan motor ini bertujuan untuk menurunkan arus starter motor yang melebihi arus nominal, jika hal tersebut terjadi maka akan dapat mempengaruhi arus listrik pada peralatan listrik yang ada disekitar motor tersebut maupun dapat merusak motor itu sendiri, dalam hal ini

pengasutan yang digunakan adalah jenis pengasutan start – delta.



Gambar 4. 1 Rangkaian pengasutan

Cara kerja :

Saat tombol start ditekan, maka kontaktor 1 (utama) bekerja, Bekerjanya Kontaktor 1 diikuti dengan bekerjanya kotaktor 2 (rangkain start) dan Timer, Dalam kondisi ini motor sedang dalam posisi rangkain star/Y, kemudian dalam waktu beberapa saat kemudian (sesuai setting timer sebelum motor bekerja 100% atau lebih – kurang 75% putaranya) timer mengubah kontaknya secara otomatis dari NC menjadi NO, sehingga kontaktor 2 (rangkain start) terputus dan yang bekerja adalah kontaktor 1 (kontaktor utama) dengan kontaktor 3 (rangkain delta), sehingga motor sudah dalam posisi terhubung delta.

Thermal overload disini akan bekerja apabila terjadi arus beban berlebih, kontak bantu NC dari pengaman ini akan memutus suplay daya ke motor sehingga motor tersebut akan berhenti bekerja dan terhindar dari kerusakan akibat gangguan tersebut.

2. Pembahasan

A. Menghitung Jumlah Kutub Dan Besarnya Slip Nominal

Dengan frekwensi sebesar 50 Hz dan daya sebesar 125 HP dengan putaran 2900 ppm pada

keadaan tanpa beban dan 2860 ppm pada keadaan beban penuh.

Maka dari data diatas dapat dianalisa beberapa hal sebagai berikut :

Pada keadaan beban nol s sehingga $N_s \approx N_{bn}$, maka :

$$P = \frac{120.f}{N_{bn}} = \frac{120 \times 50}{2900} = 2,06$$

Jumlah kutub pada motor ini adalah sebanyak 2 buah (sepasang).

$$N_s = \frac{120f}{p} = \frac{120 \times 50}{2} = 3000 \text{ ppm}$$

$$N_r = 2860 \text{ ppm}$$

$$S(\%) = \frac{N_s - N_r}{N_s} \times 100\% = \frac{3000 - 2860}{3000} \times 100\% = 4,67\%$$

Besar nilai slip motor tersebut adalah 4,67%.

Besar dan kecilnya nilai slip dari motor induksi tergantung pada kecepatan putar motor tersebut, perbedaan putar antara stator dengan rotor dapat menentukan besar atau kecilnya nilai slip.

Pada saat start, putaran rotor (N_r) = 0 ppm, sehingga didapat:

$$S = \frac{N_s - 0}{N_s} \times 100\% = 100\%$$

Sedangkan, Pada saat sinkron, $N_r = N_s$

$$S = \frac{N_s - N_s}{N_s} \times 100\% = 0\% \text{ (Motor keadaan diam)}$$

Jadi, harga slip motor induksi ini adalah: 100%
 $\geq s \geq 0\%$

B. Menghitung Daya dan Efisiensi Motor

$T_g \times 2\pi \times N =$ keluaran rotor dalam Watt.

Daya motor adalah sebesar 125 HP, seperti yang diketahui bahwa 1 HP sama dengan 746 watt jadi daya motor dalam Watt, 125 HP \times 746 Watt = 93.250 Watt.

$$T_g = \frac{\text{keluaran rotor dalam watt}}{2\pi N}$$

$$= \frac{93.250}{2 \times 3,14 \times 2860}$$

$$= \frac{93.250}{17.960,8}$$

$$= 5,19 \text{ HP}$$

Daya Output dari rotor adalah sebesar = 5,19 HP.

$$\text{Input rotor} = T_g \times 2 \pi \times N_s$$

$$= 5,19 \times 2 \times 3,14 \times 3000$$

$$= 97.780 \text{ Watt}$$

Daya Input dari rotor adalah sebesar = 97.780 Watt.

$$\cos \varphi = \frac{P_{in}}{\sqrt{3} \cdot VI}$$

$$= \frac{97.780}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 168}$$

$$= \frac{97.780}{110.575}$$

$$= 0,87 \cos \varphi$$

Faktor daya yang didapat adalah sebesar = 0,87

$\cos \varphi$.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$= \frac{93.250}{97.780} \times 100\%$$

$$= 95,3 \%$$

Efisiensi dari motor ini adalah sebesar : 95,3 %.

C. Menghitung Torsi dan Arus Pada Rangkaian Star (Y) dan Delta (Δ)

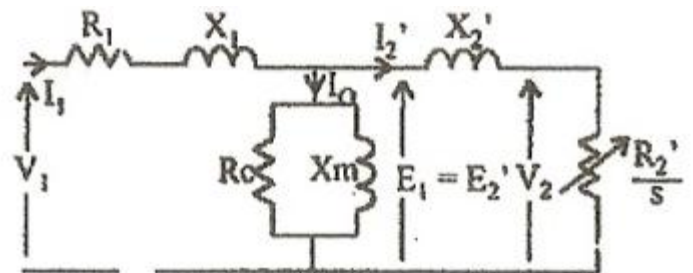
Motor bekerja pada tegangan 380 volt, Tehubung Star - Delta dengan slip pada beban penuh adalah 0,0467%, dengan besaran karakteristik sebagai berikut:

$$R_1 = 0,32 \Omega \quad X_1 = 1,12 \Omega$$

$$R_2' = 0,37 \Omega \quad X_2' = 1,12 \Omega$$

$$R_c = 131 \Omega \quad X_m = 15,32 \Omega$$

Maka rangkaian Ekuivalen nya dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 4. 2 Rangkaian ekuivalen

a. Arus Star (Y)

- i. Tiap belitan mendapatkan tegangan sebesar $U_{ph} \cdot \sqrt{3}$.
- ii. Sehingga arus yang mengalir ditiap belitan sebesar I_Y .
- iii. Arus yang mengalir ditiap belitan akan sama dengan arus fasa I_Y .

$$U_{ph} = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{380}{1,73}$$

$$= 220V$$

$$T_{start} = \frac{3}{\omega_{sn}} \left(\frac{(U_{ph})^2 (R_2')}{(R_1 + R_2')^2 + j (X_1 + X_2')^2} \right)$$

$$= \frac{3}{314,1592} \left(\frac{(220)^2 (0,37)}{(0,32 + 0,37)^2 + j (1,12 + 1,12)^2} \right)$$

$$= (0,0095) \left(\frac{(48400)(0,37)}{(0,69)^2 + j (2,24)^2} \right)$$

$$= (0,0095) \left(\frac{17908}{5,49} \right)$$

$$= 30,988 \text{ Nm}$$

$$\begin{aligned}
I_{LY} &= \frac{U_{Ph}}{Z} \\
&= \frac{220}{\sqrt{(R1 + R2')^2 + j(X1 + X2')^2}} \\
&= \frac{220}{\sqrt{(0,32 + 0,37)^2 + j(1,12 + 1,12)^2}} \\
&= \frac{220}{\sqrt{(0,69)^2 + j(2,24)^2}} \\
&= \frac{220}{\sqrt{5,493} \angle 90^\circ} \\
&= \frac{220}{2,343 \angle 90^\circ} \\
&= 93,896 j \angle 90^\circ \text{ A}
\end{aligned}$$

Torsi motor pada rangkaian star yang didapat adalah sebesar 30,988 Nm, dengan arus sebesar 93,896 Ampere.

b. Arus Delta (Δ)

- i. Tiap belitan mendapatkan tegangan sebesar U.
- ii. Sehingga arus yang mengalir ditiap belitan sebesar $I_{P\Delta}$.
- iii. Arus fasa untuk belitan delta : $I_{\Delta} = \sqrt{3} I_{P\Delta}$.

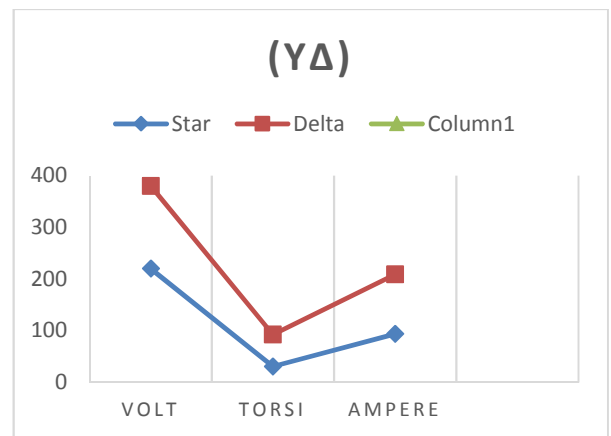
$$\begin{aligned}
U_{ph} &= U_L \\
T_{start} &= \frac{3}{\omega_{sn}} \left(\frac{(U_L)^2 (R2')}{(R1 + R2')^2 + j(X1 + X2')^2} \right) \\
&= \frac{3}{314,1592} \left(\frac{(380)^2 (0,37)}{(0,32 + 0,37)^2 + j(1,12 + 1,12)^2} \right) \\
&= (0,0095) \left(\frac{(144,4)(0,37)}{(0,69)^2 + j(2,24)^2} \right) \\
&= (0,0095) \left(\frac{53,428}{5,49} \right) \\
&= 92,452 \text{ Nm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{ph} &= \frac{U_L}{Z} \\
&= \frac{380}{\sqrt{(R1 + R2')^2 + j(X1 + X2')^2}} \\
&= \frac{380}{\sqrt{(0,32 + 0,37)^2 + j(1,12 + 1,12)^2}} \\
&= \frac{380}{\sqrt{(0,69)^2 + j(2,24)^2}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{380}{\sqrt{5,49} \angle 72,87^\circ} \\
&= \frac{380}{2,343 \angle 72,87^\circ} \\
&= 162,4 \angle -72,87^\circ
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{L\Delta} &= \sqrt{3} \times I_{ph} \\
&= 1,73 \times 162,4 \\
&= 280,9 \text{ A}
\end{aligned}$$

Dan pada rangkaian delata torsi yang didapat adalah 92,452 Nm, Dengan arus sebesar 280.9 Ampere. Perbandinga torsi dan arus pada rangkaian star dan delta.



Gambar 4.3 Perbandingan tegangan, torsi dan arus

D. Menghitung Besarnya Arus Beban Penuh Maupun Tanpa Beban

Langkah selanjutnya adalah mencari besar arus yang mengalir pada motor saat dalam kondisi beban penuh maupun tanpa beban, dari data yang ada diatas dapat dianalisa sebagai berikut:

- a. Besar arus dalam kondisi beban penuh

$$\begin{aligned}
I_0 &= \frac{U_L}{R_c} + \frac{U_L}{jX_m} \\
&= \frac{380}{131} + \frac{380}{j15,32} \\
&= 2,9 - j 24,8
\end{aligned}$$

$$I_2' =$$

$$\frac{U_L}{\sqrt{\left(R1 + \frac{R2'}{s}\right)^2 + j(X1 + X2')^2}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{380}{\sqrt{\left(0,32 + \frac{0,37}{0,0467}\right)^2 + j(1,12 + 1,12)^2}} \\
&= \frac{380}{\sqrt{(0,32 + 79)^2 + j(2,24)^2}} \\
&= \frac{380}{\sqrt{(8,22)^2 + j(2,24)^2}} \\
&= \frac{380}{\sqrt{8,51} \angle -15,24^\circ} \\
&= 44,65 \angle -15,24^\circ \\
&= 44,65 - j15,24
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_1 &= I_0 + I_2' \\
&= 2,9 - j24,8 + 44,65 - j15,24 \\
&= 47,55 - j40,04 \\
&= 62,16 \angle -40,09^\circ
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Maka } I_L &= \sqrt{3} \times 62,16 \angle -40,09^\circ \\
&= 107,7 \angle -40,09^\circ \text{ Ampere}
\end{aligned}$$

Arus dalam keadaan beban penuh adalah sebesar = 107,7 Ampere.

b. Dalam keadaan tanpa beban

Dalam keadaan tanpa beban slip motor bernilai 100% = 1, maka R2 akan dianggap tetap, Sehingga,

$$\begin{aligned}
I_0 &= \frac{U_L}{R_c} + \frac{U_L}{jX_m} \\
&= \frac{380}{131} + \frac{380}{j15,32} \\
&= 2,9 - j24,8 \\
I_2' &= \frac{U_L}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + j(X_1 + X_2')^2}} \\
&= \frac{380}{\sqrt{\left(0,32 + \frac{0,37}{1}\right)^2 + j(1,2 + 1,2)^2}} \\
&= \frac{380}{\sqrt{(0,32 + 0,37)^2 + j(2,24)^2}} \\
&= \frac{380}{\sqrt{(0,69)^2 + j(2,24)^2}} \\
&= \frac{380}{\sqrt{5,493} \angle 72,87^\circ} \\
&= \frac{380}{2,34 \angle 72,87^\circ}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 162,4 \angle -72,87^\circ \\
&= 162,4 - j72,87
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_1 &= I_0 + I_2' \\
&= 2,9 - j24,8 + 162,4 - j72,87 \\
&= 165,3 - j97,6 \\
&= 191,96 \angle -30,5^\circ
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Maka } I_L &= \sqrt{3} \times 191,96 \angle -30,5^\circ \\
&= 332,5 \angle -30,5^\circ \text{ Ampere}
\end{aligned}$$

Sedangkan dalam kondisi tanpa beban arus yang didapat adalah sebesar 332,5 Ampere.

E. Menghitung Besarnya Rating Pengaman

Menurut PUIL 2000 untuk sirkit akhir yang menyuplai beberapa motor, nilai pengenal atau stelan gawai proteksi hubung pendek tidak boleh melebihi nilai terbesar dihitung menurut tabel untuk masing – masing motor ditambah dengan jumlah arus beban penuh motor lain dalam sirkit akhir motor tersebut.

Tabel 4. 3 Presentase rating pengaman

JENIS MOTOR	Presentase arus beban penuh	
	Pemutus sirkit %	Pengaman lebur %
Motor sangkar atau serampak, dengan pengasutan bintang segitiga, langsung pada jaringan dengan reaktor atau resistor motor fasa tunggal	250	400
Motor sangkar atau serampak dengan pengasutan auto transformator atau motor sangkar reaktans tinggi	200	400
Motor rotor lilit atau arus searah	150	400

a. MCCB

Seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa MCCB ini digunakan sebagai pengaman motor dari gangguan hubung singkat, walaupun demikian dalam kenyataannya dapat juga diandalkan sebagai pengaman beban lebih.

Untuk menentukan nilai noninal dari pengaman ini, maka digunakan standar dari PUIL 2000 sebagai acuan, yaitu 150% dari arus nominal, Arus nominal dari motor adalah

sebesar 168 A, maka $150\% \times 168 \text{ A} = 252 \text{ A}$, sehingga rating MCCB adalah sebesar 252 Ampere.

b. Thermal Over Load

Thermal overload ini berfungsi sebagai pengaman motor dari beban berlebih, dan pada umumnya terdapat tiga penyebab utama beban berlebih antara lain:

- Arus start yang terlalu besar atau motor listrik berhenti mendadak.
- Terjadinya hubung singkat.
- Terbukan/terputusnya salah satu dari fasa dari motor induksi.

Cara menentukan nilai dari termal over load disini masih menggunakan satandar dari PUIL 2000 yaitu arus noninal dikalikan dengan konstanta sebesar 110 - 120%. Oleh karena itu dapat diasumsikan bahwa rating pengaman adalah 115 %, maka, $115\% \times 168 \text{ A} = 193 \text{ A}$

Jadi pengaturan Thermal Over Load untuk motor tersebut adalah sebesar 193 Ampere.

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

- a. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa arus Star (Y) tiga kali lebih kecil dibandingkan dengan arus pada hubung Delta (Δ), Karena pada belitan star (Y) mendapatkan tegangan sebesar $U_L/\sqrt{3}$, sementara pada belitan Delta (Δ) $U_L=U_{ph}$.
- b. Jika terjadi arus beban berlebih atau gangguan hubung singkat maka pengaman (Thermal Overlod) akan dengan cepat memutus daya ke Motor sehingga Motor terhindar dari kerusakan.

- c. Dari hasil perhitungan arus pada rangaian star maupun delta dapat dilihat bahwa pengasutan ini dapat meminimalisir arus masukan dari motor induksi yang jika dihubungkan langsung dengan sumber dari PLN akan membutuhkan arus lima kali lipat dari arus nominal.

2. Saran

Pengasutan Start – Delta ini hanya salah satu dari berbagai jenis pengasutan, untuk mendapatkan nilai arus yang lebih kecil dapat dilakukan pengujian terhadap beberapa jenis pengasutan yang biasa dipakai di Industri, contohnya seperti pengasutan Auto Trosformator, DOL (Direct Online), Starting Dengan Menggunakan Tahanan Primer (Primary Resistance) dan Starting dengan Pengaturan Tahanan Rotor.

DAFTAR PUSTAKA

Djoekardi, Djuhana. 1997. “*Mesin- mesin Listrik Motor Induksi*”. Jakarta: Universitas Trisakti.

Fitzgerald, A. E., Kingsley, Charles, Jr., Usmans, Stephen, D. 1992. “*Mesin – Mesin Listrik*” Jakarta: Erlangga.

<https://edoc.site/3motor-induksi-tiga-fase-rotor-sangkar-pdf-free.html>, diakses 23 Mei 2018, pukul 10:35.

<https://www.slideshare.net/NemoGalau/teori-motorinduksi>, diakses 24 Mei 2018, pukul 18.50.

- <http://www.insinyoer.com/prinsip-kerja-motor-induksi-3-fasa/>, diakses 30 Mei 2018, pukul 23.36.
- H. Rashid, Muhammad, "Power Electronics", Academic Press, California, 2001.
- Kuswoyo, Didit, V, 2016, "Sistem Proteksi Gangguan Motor Induksi 3 Fasa dari Dari Gangguan Tidak Seimbang Dan Gangguan Temperatur Lebih Menggunakan Mikrokontroler". *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Lister, Eugene C : "Mesin Dan Rangkaian Listrik". Edisi Keenam, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1988
- Muslimin, Zaenal, "Jurnal Penelitian Enjiniring Pengontrolan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Inverter Berbasis Mikrokontroler AT89S51", Jurnal Tugas Akhir Universitas Hasanuddin, 2009.
- Purba, J, A., Tobing, P, (2014), "Analisis Perbandingan Torsi Start Dan Arus Start, Dengan Menggunakan Metode Pengasutan Autotrafo, Start Delta Dan DOL (Direct On Line) Pada Motor Induksi 3 Fasa ". Universitas Sumatera Utara. 2014.
- Rozi. 2014, "Pengujian Parakteriistik Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa Rotor Sangkar Menggunakan Metode Soft Starting". *Skripsi*. Universitas Bengkulu.
- Stephen J. Chapman, "Electric Machinery Fundamentals", Mc. Graw Hill, 2012.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). Performance Improvement of Radial Distribution Network with Distributed Generation Integration Using Extended Particle Swarm Optimization Algorithm. *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, 10(2). pp. 293-304.
- Syahputra, R., (2012), "Distributed Generation: State of the Arts dalam Penyediaan Energi Listrik", LP3M UMY, Yogyakarta, 2012.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M., (2013), "Distribution Network Efficiency Improvement Based on Fuzzy Multi-objective Method". *International Seminar on Applied Technology, Science and Arts (APTECS)*. 2013; pp. 224-229.
- Supriyadi, Ali. "Metode Starting Motor Induksi 3 Fasa Rotor Tupai (Squirrel-Cage Rotor 3 Phase Induction Motor)". *Jurnal Forum Teknologi*.
- Theraja. B. L. dan A. K. Theraja. *A Textbook of Electrical Technology*. New Delhi : S. Chand & Company. Ltd, 2007

Wijaya, Mochtar. 2001. "*Dasar-Dasar Mesin Listrik*". Jakarta: Djambatan.

Wildi, Theodore: "Electrical Machines, Drives, and Power System", Fifth Edition, Prentice Hall, New Jersey

Yudiastawan, I, G, P. 2009, "Deteksi Kerusakan Baring dan *Eccentricity* Pada Motor Induksi Tiga Fasa Dengan *Current Signature Analysis*". *Tesis*. Universitas Indonesia.

Yusnita. "Sistem Pengendali Arus Start Motor Induksi Phasa Tiga Dengan Variasi Beban". *Jurnal Teknik Elektro ITP*. 2012.

Zuhal. 1988. "*Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*". Jakarta: Gramedia.