

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik, penamaanya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke rotor sehingga motor ini disebut motor induksi. Arus yang dihasilkan rotor atau yang biasa disebut bagian yang bergerak motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator. Motor induksi sangat banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari baik industri, motor induksi 3 fasa umumnya dipakai oleh industri. (Anthony, 2018)



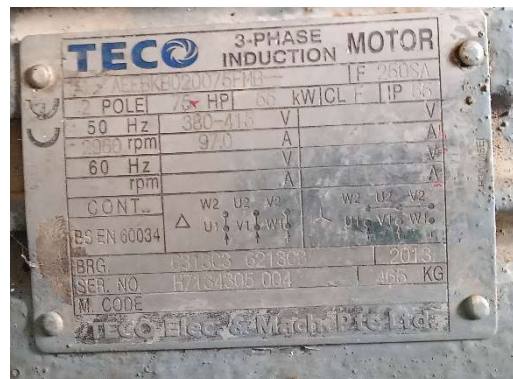
Gambar 2. 1 Motor Induksi 3 Fasa (hanzel, 2018)

Pada gambar 2.1 ditampilkan motor induksi 3 fasa yang pada umumnya sering digunakan pada industri dengan berbagai macam fungsi sesuai dengan kebutuhan industri tersebut.



Gambar 2. 2 Penerapan Motor Induksi di Industri

Pada Gambar 2.2 ditampilkan salah satu penerapan motor induksi yaitu sebagai motor pompa air distribusi yang digunakan oleh PT Cemindo Gemilang Tbk, bayah untuk sebagai penyuplai kebutuhan air di pabrik tersebut. Data data motor induksi dibuatkan pada plat nama motor (*nameplate*).



Gambar 2. 3 Nameplate Motor Induksi

pada gambar 2.3 ditampilkan *nameplate* motor induksi yang digunakan pada industri.

2.1.1 Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator stator kepada kumparan rotornya. Bila kumparan stator motor induksi 3 fasa yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan 3 fasa, maka kumparan sator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis-garis daya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul ggl atau tegangan induksi karena penghantar kumparan 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 *Lentz*, 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 :

$$N_s = \frac{60 \cdot f}{P} \dots\dots\dots(2.1)$$

Atau

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

Keterangan :

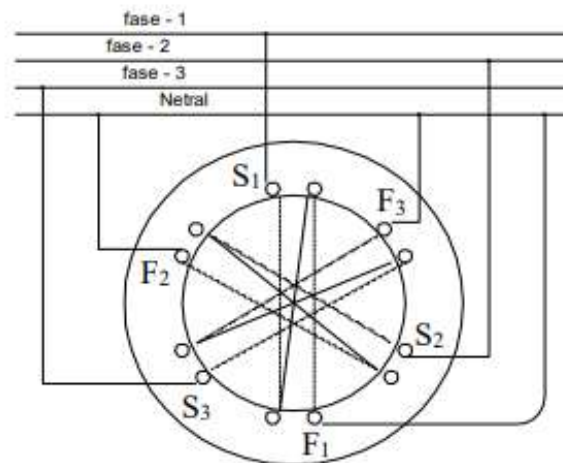
f = frekuensi sumber AC (Hz)

P = jumlah pasang kutub

p = jumlah kutub

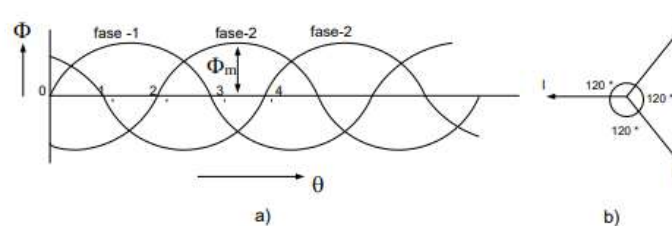
N_s = kecepatan putaran sinkron medan magnet stator (rpm)

Prinsip kerja pada motor induksi 3 fasa sumber tegangannya dapat dijelaskan. Sumber 3-fase ini biasanya digunakan oleh motor induksi 3-fase. Motor induksi 3-fase ini mempunyai kumparan 3-fase yang terpisah antar satu sama lainya sejarak 120^o listrik yang dialiri oleh arus listrik 3-fase yang berbeda fase 120^o listrik antar fasenya, sehingga keadaan ini akan menghasilkan resultan fluks magnet yang berputar seperti halnya kutup magnet aktual yang berputar secara mekanik. Bentuk gambaran sederhana hubungan kumparan motor induksi 3-fase dengan dua kutup stator diperlihatkan pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Bentuk Hubungan Sederhana Kumbaran Motor Induksi 3 Fase dengan Dua Kutub Stator (Anthony Erhaneli, n.d.)

Bentuk gambaran fluks yang terjadi pada motor induksi 3 fase diperlihatkan pada gambar 2.5 fluks yang terjadi pada kumbaran 3-fase diasumsikan sinusoidal seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.5a dengan arah fluks positif seperti gambar 2.6b



Gambar 2. 5 Fluks yang Terjadi pada Motor Induksi (Anthony, 2018)

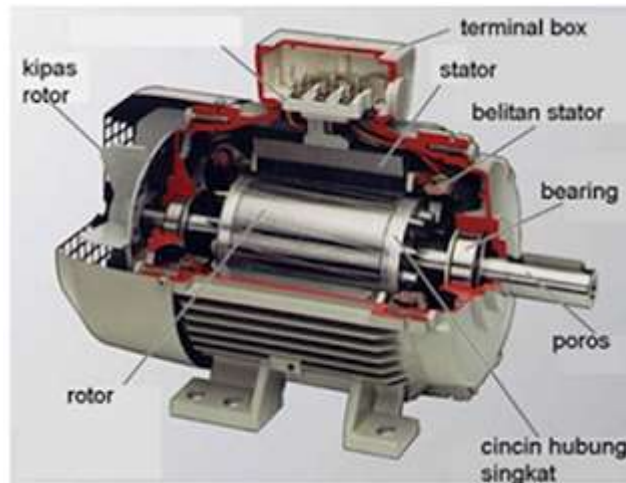
Medan putar stator tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor. Akibatnya pada batang konduktor dari rotor akan timbul GGL induksi. Karena batang konduktor merupakan rangkaian yang tertutup maka GGL akan menghasilkan arus (I). Adanya arus (I) di d dalam medan magnet akan

menimbulkan gaya (F) pada rotor. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah dengan medan putar stator. GGL induksi timbul karena terpotongnya batang konduktor (rotor) oleh medan putar stator. Artinya agar GGL induksi tersebut timbul, diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r). Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut slip (s), dinyatakan dengan $S = (n_s - n_r) / n_s$. Bila $n_r = n_s$, GGL induksi tidak akan timbul dan arus tidak mengalir pada batang konduktor (rotor), dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Dilihat dari cara kerjanya, motor induksi disebut juga sebagai motor tak serempak atau asinkron hubungan antara beban, kecepatan dan torsi. (Anthony, 2018)

2.2.1 Konstruksi Motor Induksi

Motor induksi pada dasarnya mempunyai 3 bagian penting dan beberapa bagian lainnya seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.6 sebagai berikut :

1. Stator: Merupakan bagian yang diam dan mempunyai kumparan yang dapat menginduksikan medan elektromagnetik kepada kumparan rotornya.
2. Celah : Merupakan celah udara: Tempat berpindahnya energi dari stator ke rotor.
3. Rotor : Merupakan bagian yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diinduksikan kepada kumparan rotor.



Gambar 2. 6 Bagian-bagian Motor Induksi (dunia elektro, 2012)

Konstruksi stator motor induksi pada dasarnya terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut :

1. Rumah stator (rangka stator) dari besi tuang
2. Inti stator dari besi lunak atau baja silikon
3. Alur, bahannya sama dengan inti, dimana alur ini merupakan tempat meletakkan belitan (kumparan stator)
4. Belitan (kumparan) stator dari tembaga.

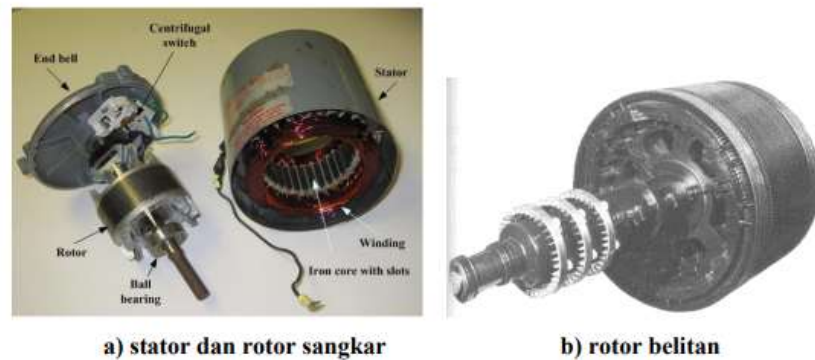
Rangka stator motor induksi ini didisain dengan baik dengan empat tujuan yaitu :

1. Menutupi inti dan kumparannya.
2. Melindungi bagian-bagian mesin yang bergerak dari kontak langsung dengan manusia dan dari goresan yang disebabkan oleh gangguan objek atau gangguan udara terbuka (cuaca luar).

3. Menyalurkan torsi ke bagian peralatan pendukung mesin dan oleh karena itu stator didisain untuk tahan terhadap gaya putar dan guncangan.
4. Berguna sebagai sarana perumahan ventilasi udara sehingga pendinginan lebih efektif.

Berdasarkan bentuk konstruksi rotornya, maka motor induksi dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu :

1. Motor induksi dengan rotor sangkar (*squirrel cage*).
2. Motor induksi dengan rotor belitan (*wound rotor*)

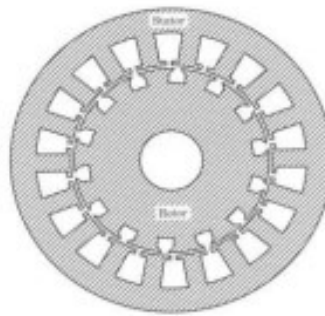


Gambar 2. 7 Konstruksi Motor Induksi

Pada gambar 2.7 ditampilkan konstruksi rotor motor induksi terdiri dari bagian sebagai berikut. :

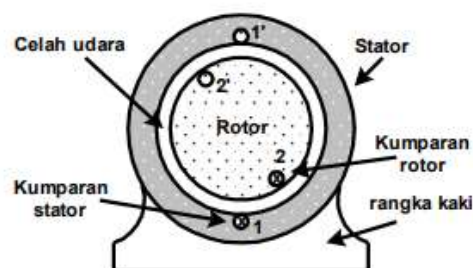
1. Inti rotor, bahannya dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti stator.
2. Alur, bahannya dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti. Alur merupakan tempat meletakkan belitan (kumparan) rotor.
3. Belitan rotor, bahannya dari tembaga.
4. Poros atau as.

Diantara stator dan rotor terdapat celah udara yang merupakan ruangan antara stator dan rotor. Pada celah udara ini lewat fluks induksi stator yang memotong kumparan rotor sehingga menyebabkan rotor berputar. Celah udara yang terdapat antara stator dan rotor diatur sedemikian rupa sehingga didapatkan hasil kerja motor yang optimum. Bila celah udara antara stator dan rotor terlalu besar akan mengakibatkan efisiensi motor induksi rendah, sebaliknya bila jarak antara celah terlalu kecil/sempit akan menimbulkan kesukaran mekanis pada mesin. gambaran sederhana bentuk penempatan stator dan rotor pada motor induksi ini diperlihatkan pada gambar 2.9



Gambar 2. 8 Bentuk Alur/Slot (Anthony, 2018)

Pada Gambar 2.8 ditampilkan gambaran sederhana bentuk alur / slot pada motor induksi diperlihatkan.



Gambar 2. 9 Motor Induksi dengan Satu Kumparan Stator dan Rotor (Anthony, 2018)

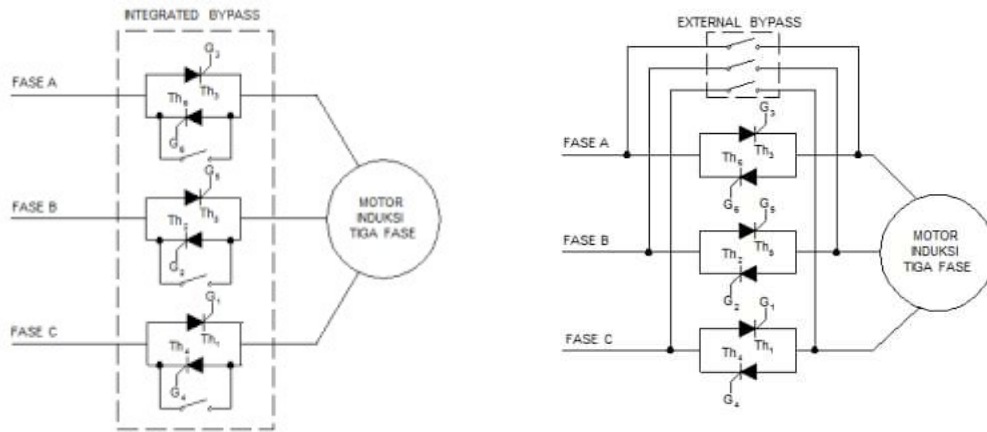
Pada Gambar 2.9 ditampilkan gambaran sederhana bentuk penempatan stator dan rotor pada motor induksi Tanda silang (x) pada kumparan stator atau rotor pada gambar 3.6 menunjukkan arah arus yang melewati kumparan masuk ke dalam kertas sedangkan tanda titik (.) menunjukkan bahwa arah arus keluar dari kertas. (Anthony, 2018)

2.2 Pengasutan *Softstarter*

Softstarter ialah metode yang digunakan untuk mengatur nominal arus *start* dari motor listrik. Prinsip kerjanya adalah dengan mengatur tegangan yang masuk ke motor. Pertama 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 dinaikkan secara bertahap sampai pada nominal tegangan nya dan motor akan berputar dengan kondisi RPM yang nominal. Komponen utama *softstarter* adalah *thyristor* dan rangkaian yang mengatur *trigger thyristor*. Seperti diketahui, *output thyristor* dapat diatur via pin *gate* nya. Rangkaian tersebut akan mengontrol level tegangan yang akan dikeluarkan oleh *thyristor*. Metode *softstarting* memiliki slip dan torsi paling rendah diantara metode yang lain pada keadaan tanpa beban maupun berbeban (Junaidi & Damayanti, 2019).

2.2.1 Rangkaian Ekuivalen *Softstarter*

Softstarter adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengurangi lonjakan arus awal yang terjadi saat motor listrik dihidupkan.

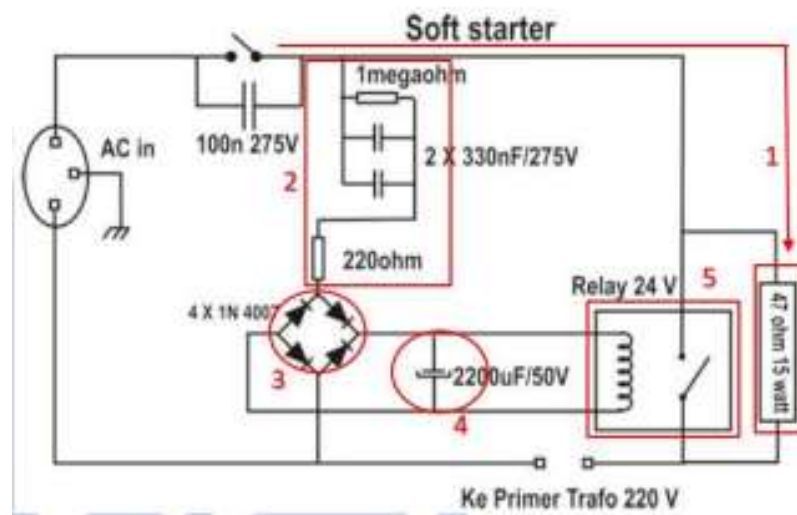


Gambar 2.10 Rangkaian Ekuivalen *Softstarter* Versi *Eaton Corporation* dan *Rockwell Automation*

Rangkaian ekuivalen *softstarter* pada gambar 2.10 terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk: Penguat arus (*current amplifier*): Digunakan untuk memperkuat sinyal kontrol dan mengendalikan arus yang mengalir ke motor. Pengatur tegangan (*voltage regulator*): Mengatur tegangan yang diberikan ke motor untuk memastikan *startup* yang halus dan mengurangi tekanan pada sistem. Pencacah waktu (*timer*): Digunakan untuk mengatur waktu *startup* dan memastikan bahwa motor memulai operasi secara bertahap. Penguat kontrol (*control amplifier*): Mengontrol proses *startup* dan memastikan motor mendapatkan daya sesuai dengan kebutuhan tanpa menyebabkan lonjakan arus yang berlebihan. Rangkaian ekuivalen *softstarter* bekerja dengan mengontrol tegangan dan arus yang diberikan ke motor selama fase *startup*, sehingga mengurangi tekanan pada sistem listrik dan mekanik, serta memperpanjang umur motor.

2.2.2 Prinsip Kerja Rangkaian *Softstarter*

Prinsip kerja dari rangkaian *softstarter* memanfaatkan prinsip hukum ohm dimana tegangan berbanding lurus terhadap arus yang mengalir melalui material penghantar, dengan kata lain arus berbanding terbalik dengan beban. Sehingga, jika beban dalam suatu rangkaian ditambah, maka arus pada rangkaian tersebut akan berkurang, begitu juga sebaliknya jadi ketika *softstarter* disambungkan dengan tegangan PLN maka proses yang terjadi adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 11 Proses Kinerja Rangkaian *Softstarter*

(Mumtaza & Supardi, 2019)

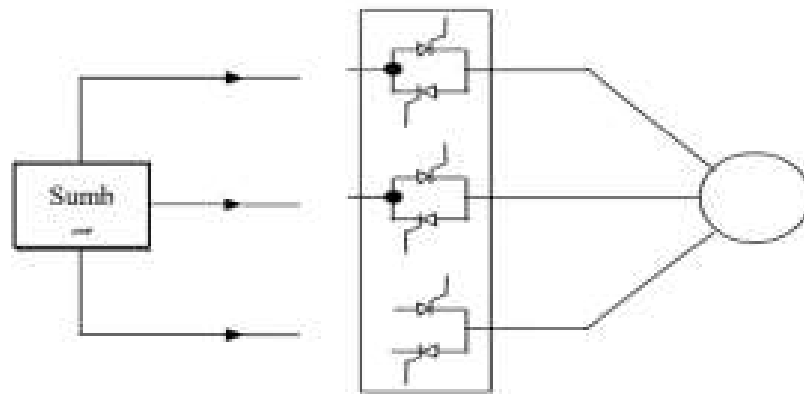
Pada gambar 2.11 ditampilkan proses kinerja rangkaian *softstarter* dimana Prosesnya :

- 1) arus listrik pertama kali akan melewati resistor penahan arus sementara, hal ini terjadi karena jalur rangkaian yang lain dipisahkan oleh sakelar otomatis yang belum terhubung sehingga arus tidak dapat mengalir. Tahap ini merupakan proses reduksi dari lonjakan arus awal.

- 2) Selanjutnya, pada bagian 2 terjadi proses penurunan tegangan AC dari PLN sehingga tegangan yang masuk ke komponen berikutnya tidak terlalu besar dan komponen tidak terbakar.
- 3) Untuk bagian 3 merupakan pemasangan dioda yang berfungsi sebagai penyearah arus.
- 4) Kemudian pada bagian merupakan kapasitor yang berfungsi untuk menyimpan tegangan sementara, yang mana tegangan tersebut digunakan untuk menggerakkan *coil* pada sakelar otomatis (relay).
Pada tahap akhir
- 5) Sakelar akan terhubung secara otomatis jika pengisian tegangan pada kapasitor sudah maksimal. Jalur pada sakelar otomatis akan terhubung sehingga dapat dilewati oleh arus. (Mumtaza & Supardi, 2019)

Prinsip kerja dari *softstart* ini yakni mereduksi arus inrush pada saat pembebanan awal untuk menghindari kegagalan fungsi saklar sebagai pemutus rangkaian. Rangkaian dasar *soft starting* terdiri dari komponen *thyristor* untuk mengontrol aliran arus yang masuk ke motor sehingga tegangan akan masuk secara bertahap dan akhirnya penuh. 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 fasa atau 3 fasa *softstarter* ialah metode yang digunakan untuk mengatur nominal arus *start* dari motor listrik. Prinsip kerjanya adalah dengan mengatur tegangan yang masuk ke motor. Pertama 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 dinaikkan secara bertahap sampai pada nominal tegangannya dan motor akan berputar dengan kondisi RPM yang nominal. Komponen utama *Softstarter* adalah *thyristor* dan rangkaian yang mengatur trigger *thyristor*. Seperti diketahui, *output thyristor* dapat diatur via pin *gate* nya. Rangkaian tersebut akan mengontrol level tegangan yang akan dikeluarkan oleh *thyristor*. Metode *softstarting* memiliki slip dan torsi paling rendah diantara metode yang lain pada keadaan tanpa beban maupun berbeban. (Juli et al., 2019)



Gambar 2. 12 Diagram Rangkaian Daya *Softstater* (Junaidi & Damayanti, 2019)

Pada Gambar 2.12 ditampilkan dimana rangkaian daya pada metode *softstarter* dimana tegangan *start* dengan menggunakan metode *softstarter* tidak tergantung pada arus yang ditarik oleh motor atau pada kecepatan motor, melainkan di program mengikuti kontur terhadap waktu (*Time Voltage Ramp*, TVR). Melalui TVR, pertama-tama motor hanya di berikan tegangan yang rendah sekitar 10% - 70% tegangan nominalnya 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 kondisi RPM yang nominal. Nilai daya dan tegangan serta arus pada motor 3 phasa memiliki hubungan yang ditunjukkan dengan rumus dibawah ini yaitu :

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\varphi \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

P = daya motor (kW)

V = tegangan (V)

I = arus (A)

$\cos \varphi$ = faktor daya

Sehingga untk mendapatkan nilai arus dapat menggunakan rumus :

$$I = \frac{P}{V} \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi \dots\dots\dots(2.5)$$

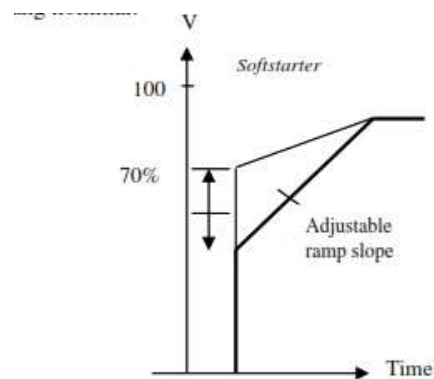
Nilai arus yang tertera pada nameplate adalah nilai arus nominal yang dapat di cari menggunakan rumus diatas, untuk mendapatkan nilai arus rata-rata dari nilai arus perphasa maka digunakan rumus berikut :

$$I_{\text{rata-rat}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \dots\dots\dots(2.6)$$

Softstarter menghasilkan proses *starting* yang halus dan bebas hentakan pada motor induksi. Tegangan berfrekuensi tinggi dapat dengan mudah dkecilkan menggunakan semikonduktor berbasis model sirkuit *control*. Sirkuit *control* ini bukan hanya mengurangi harmonik tetapi juga mengurangi permasalahan yang timbul ketika motor terhubung *direct on*

line dan memberikan pengasutan yang halus bebas hentakan pada motor listrik.(Anwar et al., 2022)

Tegangan *start* dengan menggunakan metode *softstarter* tidak tergantung pada arus yang ditarik oleh motor atau pada kecepatan motor, melainkan di program mengikuti kontur terhadap waktu (*Time Voltage Ramp*, TVR). Melalui TVR, pertama-tama motor hanya di berikan tegangan yang rendah sekitar 10% - 70% tegangan nominalnya sehingga arus dan torsi pun juga rendah. Pada level ini motor hanya sekedar bergerak perlahan dan tidak menimbulkan kejutan. Seperti pada gambar 2.12 ditampilkan grafik *softstarter* sehingga menjelaskan bahwa selanjutnya tegangan akan dinaikan secara bertahap sampai ke nominal tegangannya dan motor akan berputar dengan kondisi RPM yang nominal.(Juli et al., 2019)



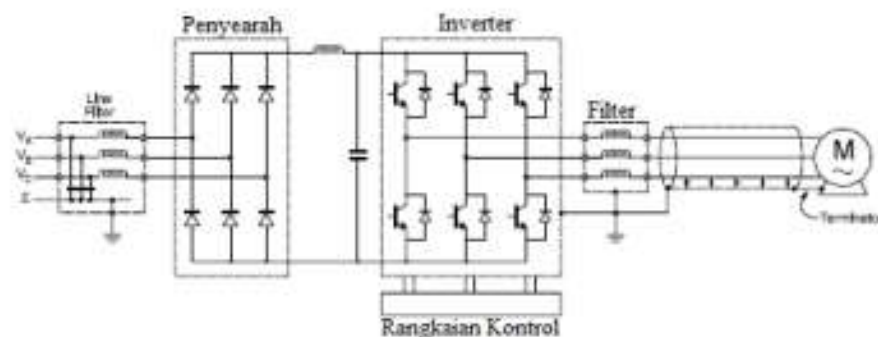
Gambar 2.13 Grafik *Softstater* (Juli et al., 2019)

2.3 Pengasutan Inverter

Variable speed drive atau disebut juga dengan *variable frequency drive* merupakan sebuah alat yang lebih dikenal dengan sebutan *inverter*. Alat ini merupakan alat yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor dengan

mengubah nilai tegangan dan frekuensi yang masuk ke motor. *Variable Speed Drive* (VSD) adalah metode pengasutan yang memiliki konsep dasar mengubah sumber daya Arus bolak balik (AC) menjadi arus searah (DC) melalui penyearah yang dikontrol atau tidak dan kemudian diubah kembali menjadi AC untuk memberi tegangan pada motor yang dapat diatur besar frekuensinya. VSD ini memiliki 2 bagian utama yakni penyearah tegangan AC (50 atau 60 HZ) ke DC, dan bagian kedua yaitu membalikan dari arus searah (DC) ke tegangan AC dengan frekuensi yang diinginkan. Penggunaan inverter merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengubah daya arus searah menjadi arus bolak balik, sehingga frekuensi yang dihasilkan dapat diubah. Selain itu fungsi Inverter juga adalah untuk merubah kecepatan motor AC dengan cara merubah frekuensi *output*-nya. Perubahan frekuensi arus bolak balik dari inverter ditentukan oleh periode pulsa yang memacu penyearah yang digunakan. Dengan mempercepat atau memperlambat periode pulsa yang memicu *thyristor*, frekuensi dan juga kecepatan motor dapat diatur. (Zira Rizqianti & Endi Permata, 2022)

2.3.1 Rangkaian Ekuivalen Inverter/Variable Frequency Drive



Gambar 2. 14 Rangkaian VSD (Ali, 2018)

Pada Gambar 2.14 ditampilkan rangkaian vfd/vsd Rangkaian ekuivalen *variable* frekuensi *drive*, juga dikenal sebagai pengendali kecepatan *variable* (VSD) atau inverters, adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor dengan mengubah frekuensi dan tegangan daya yang diberikan ke motor. Berikut adalah komponen utama dan penjelasannya:

- *Converter*: Komponen ini mengubah tegangan AC input menjadi tegangan DC. Converter ini biasanya terdiri dari rangkaian jembatan terkendali (*controlled bridge*) seperti rangkaian *H-bridge* atau rangkaian PWM (*Pulse Width Modulation*).
- DC Bus: Setelah tegangan AC diubah menjadi tegangan DC oleh *converter*, tegangan DC ini disimpan dalam bus DC untuk digunakan oleh inverter.
- *Inverter*: *Inverter* mengubah tegangan DC dari bus DC menjadi tegangan AC dengan frekuensi variabel. Ini dilakukan dengan menggunakan rangkaian jembatan terkendali yang menghasilkan sinyal sinusoidal yang dikontrol sesuai dengan frekuensi dan kecepatan yang diinginkan.
- Kontrol: Komponen kontrol adalah otak dari *variable* frekuensi *drive*, mengatur kecepatan motor berdasarkan input dari pengguna atau sistem kontrol lainnya. Ini bisa berupa mikrokontroler atau prosesor khusus yang mengatur frekuensi dan tegangan *output inverter* sesuai dengan kebutuhan.

- Filter: Beberapa *variable* frekuensi *drive* dilengkapi dengan filter untuk mengurangi gangguan elektromagnetik dan meningkatkan kualitas *output* daya yang diberikan ke motor. yang terdiri dari penyearah, filter dan inverter. (Ali, 2018).

Inverter atau *variable speed drive* merupakan kontrol elektronik daya yang mengubah masukan AC *root mean square* (rms) dan frekuensi yang tetap dengan keluaran yang dapat diubah-ubah. Biasanya digunakan untuk mengontrol motor induksi arus bolak-balik. sehingga dapat disebut VFD (*Variable Frequency Drive*) Berbeda dengan motor yang tak terkontrol, dengan menggunakan VSD, kita dapat mengatur kecepatan, arah putaran, pengereman dinamis, dan lain-lain. Dengan menggunakan VSD dapat menghemat energi pemakaian daya sekitar 55% dari konsumsi energi. Karena arus *starting* dapat dikurangi dengan pengaturan kecepatan motor yang dapat diatur dari saat motor diam sampai dengan motor berputar dengan kecepatan yang diinginkan. Berikut adalah blok diagram dari VSD. (Wibawanto & Facta, 2020)

2.3.2 Prinsip Kerja Rangkaian Inverter

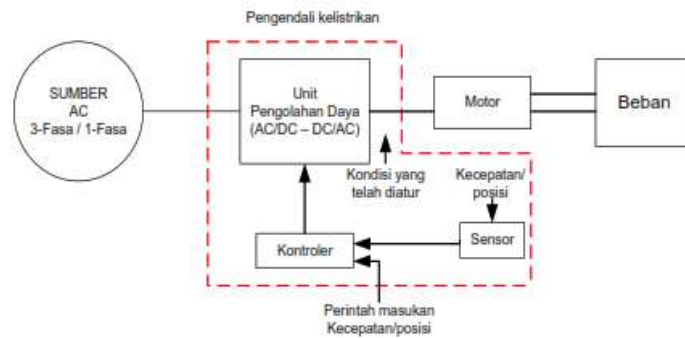
Prinsip kerja dari rangkaian inverter tiga fasa tidak jauh berbeda dengan inverter satu fasa. Untuk mengubah listrik DC menjadi listrik AC diperlukan mekanisme pengendalian kombinasi penyalan saklar elektronis dengan frekuensi yang sesuai. Masing-masing saklar elektronis tidak boleh bekerja secara simultan karena dapat mengakibatkan gangguan. *Variable Speed Drive* (VSD) atau dikenal dengan nama *Variable Speed Frequency*

(VSF) atau juga dikenal dengan nama produk Inverter merupakan rangkaian kontrol kecepatan dan torsi motor AC yang menggunakan prinsip perubahan listrik DC menjadi AC. Meningkatnya penggunaan motor listrik sebagai penggerak peralatan produksi di industri mendorong para pabrikan untuk terus mencari cara meminimasi biaya dan meningkatkan efisiensinya dalam operasinal dan kontrolnya. Salah satu cara yang dapat ditempuh adalah dengan menggunakan VSD. Penggunaan VSD dapat mengurangi konsumsi energi yang dibutuhkan oleh peralatan secara signifikan. Hal ini disebabkan VSD menggunakan prinsip switching untuk melakukan aksi kontrol dari sisi input sehingga motor listrik akan menyesuaikan dengan bebannya. Jika beban kecil, maka motor akan menyerap daya yang rendah sebaliknya jika beban besar motor akan menyerap daya yang besar pula. Hal ini berbeda pada pengendalian secara konvensional dimana motor akan menyerap daya input yang sama untuk beban yang berbeda.



Gambar 2.15 Blok Diagram VSD (Ali, 2018)

Pada Gambar 2.15 ditampilkan blok diagram rangkaian VSD dimana sumber input AC tiga fasa diubah menjadi listrik DC melalui rangkaian penyearah, selanjutnya listrik DC ini difilter untuk diratakan gelombangnya. Setelah rata selanjutnya listrik DC diubah menjadi listrik AC dengan frekuensi dan tegangan sesuai kebutuhan.



Gambar 2.16 Blok Diagram *VariabelSpeed Drive* (Wibawanto & Facta, 2020)

Pada gambar 2.16 ditampilkan blok diagram vfd/vsd. Pengontrolan didalam VSD menggunakan prinsip yang ada didalam rangkaian elektronika daya. Beberapa rangkaian yang digunakan pada VSD antara lain adalah :

1) *Rectifier*

Rectifier adalah rangkain pengubah tegangan input AC 3 fasa/1 fasa menjadi DC dengan nilai tegangan yang antara input AC dan *output* DC. Konfigurasi rangkaian yang digunakan ini biasa disebut dengan *diode bridge* atau jembatan penyearah. Dimana arus masukan serta karakteristik keluaran DC. Karakter *rectifier rangkaian rectifier* terdiri dari dioda yang disusun secara seri dan paralel untuk mendapatkan bentuk gelombang DC penuh. Dioda yang tersusun secara seri tidak dapat bekerja secara bersamaan. *Rectifier* terdiri dari beberapa bentuk rangkaian sesuai dengan jumlah fasa inputan dan bentuk gelombang keluaran.

2) *DC Link*

DC link merupakan rangkian yang terletak diantara *rectifier* dan inverter berupa kapasitor yang dipasang secara paralel. Kapasitor

digunakan untuk mengurangi *ripple*/riak yang dihasilkan dari keluaran rangkaian *rectifier* dan memberikan energi bila diperlukan ke rangkaian *inverter*.

3) *Inverter*

Inverter adalah rangkaian pengubah dari tegangan DC menjadi AC 1 fasa atau 3 fasa. Karakteristik keluaran AC bergantung pada topologi yang digunakan. Biasanya topologi yang digunakan ada PWM (*Pulse Width Modulation*). Komponen yang digunakan untuk pengaturan PWM biasanya adalah IGBT. Dengan adanya pensaklaran yang ada pada inverter. Gelombang keluaran VSD tidak sepenuhnya murni sinusoidal. Karena adanya harmonisa yang dihasilkan dari pensaklaran yang ada dirangkaian inverter. *Inverter* merupakan rangkaian pengubah tegangan DC menjadi AC. *Inverter* terdiri dari 2 tipe, yaitu:

1. Inverter Sumber Arus (*Current Source Inverter*)

- Masukan DC sebagai sumber arus DC
- Fungsi keluaran sebagai sumber arus AC
- Digunakan pada pengontrolan motor AC dengan daya tinggi

2. Inverter Sumber Tegangan (*Voltage Source Inverters*)

- Inverter yang paling banyak digunakan
- Masukan DC sebagai sumber tegangan DC
- Fungsi keluaran sebagai sumber tegangan AC

2.4 Penelitian Terkait

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait

Identitas Penelitian	Judul	Permasalahan	Metode	Hasil
Muhammad Adam, Partaonan Harahap, Benny Oktrialdi,Rino Herlambang, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	Analisis Pengasutan Motor Induksi Menggunakan <i>Softstarter</i> dan Inverter	Menganalisis persoalan awal dalam men- <i>start</i> sebuah motor yaitu problem pada arus awal yang besar dan bahwa momen awal yang sering terlampau kecil.	Pengujian	Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa besar torsi maksimal terhadap waktu yang dibutuhkan yaitu sebesar 368,7 Nm dengan metode <i>softstarting</i> sedangkan pada metode inverter untuk mencapai torsi maksimal yaitu sebesar 479,5 Nm

<p>Andi Junaidi, Susan Damayanti, Sekolah Tinggi Teknik PLN</p>	<p>.Analisis Efektifitas Penggunaan Metode <i>Softstarter</i> saat <i>start</i> awal pada pengoperasian Motor 220 Kw</p>	<p>Menganalisis mengenai efektifitas penurunan arus menggunakan metode <i>start</i> awal <i>Softstarter</i> dibandingkan dengan metode Star-Delta</p>	<p>Pengujian</p>	<p>Perbandingan penurunan nilai lonjakan arus antara metode Star-Delta dan <i>Soft starter</i> ditunjukkan dalam bentuk persentase. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai efektifitas penggunaan metode <i>Softstarter</i> dalam menurunkan nilai lonjakan arus saat <i>start</i> adalah sebesar 0,67%.</p>
<p>Zira Rizqianti, Endi Permata, Universitas</p>	<p>Analisis Pengasutan Motor Jenis Variable</p>	<p>mengetahui hasil analisis pada penggunaan</p>	<p>Pengujian</p>	<p>tujuan arus <i>starting</i> tetap kecil serta drop tegangan</p>

Sultan Ageng Tirtayasa	<i>Speed Drive (VSD) Dan Soft Starter pada Fan Cooler Sistem di PT. Cemindo Gemilang Tbk Bayah</i>	pengasutan motor, load consumption serta efisiensi penggunaan dari dua jenis pengasutan tersebut		yang ada pada sisi supply masih dalam batas toleransi
Miftakhul Umam Ulil Anwar, Dedi Nugroho , dan Agus Adhi Nugroho, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung	Analisa Perbandingan Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa <i>Soft Starter</i> IGBT Berbasis <i>Sine-Triangle</i> dan <i>Sine-Sawtooth</i> PWM Menggunakan Matlab Simulink	Pada saat motor induksi telah di <i>start</i> akan menarik arus yang tinggi yang disebut <i>Locked Rotor Current (RLC)</i> dan motor induksi akan menghasilkan torsi yang biasa disebut <i>Locked Rotor Torque</i> . Oleh	Pengujian dan simulasi	Penggunaan metode <i>soft starter</i> terbukti berhasil menurunkan nilai arus inrush, ini dibuktikan dengan melakukan perbandingan penggunaan metode <i>direct on-line</i> dengan metode <i>soft starter</i>

		karena itu ketika di <i>start</i> arusnya akan mengalami kenaikan 4 - 7 kali dari arus nominalnya		sinetriangle dan metode <i>softstarter sine-sawtooth</i> . Pada saat menggunakan metode <i>direct on-line</i>
Atmam, Abrar Tanjung Zulfahri, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning	Analisis Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Tiga Phasa Menggunakan <i>Variable Speed Drive (VSD)</i>	penggunaan motor induksi saat ini masih banyak menggunakan cara konvensional yaitu menggunakan sistem <i>starting</i> secara langsung (<i>direct-on-line</i>) atau langsung dihubungkan pada sumber listrik. Penggunaan cara ini akan		Motor induksi tiga phasa bila dioperasikan tanpa menggunakan VSD diperoleh daya sebesar 0,479 kW dengan energi listrik sebesar 0,479 kWh dan motor induksi menggunakan VSD diperoleh daya sebesar 0,330 kW dengan energi

		menimbulkan arus <i>start</i> yang tinggi pada motor induksi sehingga dapat juga menyebabkan pemborosan energi listrik.		listrik sebesar 0,330 kWh dan Perbandingan penggunaan energi listrik motor induksi tiga fasa menggunakan VSD lebih rendah sebesar 0,149 kWh dibandingkan tanpa VSD dengan penghematan energi listrik sebesar 31,10% atau sebesar Rp. 6.043,44 dalam satu bulan
--	--	---	--	--

Pada penelitian ini memiliki perbedaan yaitu pada objek penelitian yang dilakukan yaitu pada motor induksi motor pompa distribusi dengan ukuran 55kw pada daerah *Intermediete Power Plant* Bayah PT. Cemindo Gemilang Tbk. Tujuan pengujian dan penelitian ini adalah untuk mengetahui serta memecahkan masalah terhadap besarnya arus *starting* pada motor induksi. dengan metode pengasutan yang efektif dan efisiensi sesuai dengan kebutuhan yang dibutuhkan. Dan pengujian ini mencari besaran arus *starting* terhadap waktu.