

## BAB II

### KERANGKA TEORITIK DAN KERANGKA BERPIKIR

#### 2.1. Kerangka Teoritik

##### 2.1.1. Analisa

Analisa adalah penyelidikan terhadap suatu peristiwa (karangan, atau perbuatan) untuk mengetahui keadaan yang sebenarnya (sebab musabab, duduk perkaranya).<sup>1</sup> Sedangkan analisis menurut Komaruddin adalah kegiatan berpikir untuk menguraikan suatu keseluruhan menjadi komponen-komponen sehingga dapat mengenal tanda-tanda komponen, hubungannya satu sama lain dan fungsi masing-masing dalam suatu keseluruhan yang padu.<sup>2</sup>

Analisa atau analisis adalah proses kemampuan dalam domain kognitif dengan menggunakan kemampuan akal untuk memecahkan suatu masalah pokok dan menentukan bagaimana bagian – bagian saling berhubungan satu sama lain pada keseluruhan struktur.”<sup>3</sup>

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat disimpulkan bahwa yang dimaksud dengan analisa dalam penelitian adalah kemampuan akal untuk menguraikan dan mendeskripsikan suatu masalah lalu memecahkan masalah tersebut.

---

<sup>1</sup>Tim Penyusun, *Kamus Pusat Pembinaan dan Pengembangan Bahasa*, (Jakarta: Balai Pustaka, 1996), h.779

<sup>2</sup>Komaruddin, *Ensiklopedia Manajemen*, (Jakarta: Bumi Aksara, 1994), h.31.

<sup>3</sup> Eveline Siregar, *Teori Belajar dan Pembelajaran*, (Jakarta: Ghalia Indonesia, 2010), h.8

### 2.1.2. Kedip Tegangan

Kedip tegangan adalah gangguan transien pada sistem tenaga listrik yang berupa kenaikan atau penurunan tegangan sesaat dalam beberapa detik pada jaringan sistem. Kedip tegangan dapat dibagi menjadi 3 kategori yaitu: *interruption* (pemutusan), *sag* (penurunan), dan *swell* (kenaikan).

*Interruption* atau pemadaman adalah ketika *supply* tegangan dan arus mengalami pengurangan dengan durasi waktu dari 0,5 *cycles* – 30 *cycles* dan rentang perubahan tidak melebihi 0,1 *pu* pada harga rms besaran tegangan atau arus.<sup>4</sup> *Interruption* dapat terjadi karena hasil dari kesalahan sistem listrik, kegagalan peralatan, dan kerusakan kontrol. Pemadaman atau *interruption* dapat terjadi dalam tempo yang singkat maupun lama. Pemadaman dapat menyebabkan kerusakan yang fatal meskipun hanya terjadi dalam *orde milisecond* (1/1000 detik). Pemadaman terjadi karena beberapa faktor yaitu:

1. Petir.
2. Putusnya sekring panel utama.
3. Adanya pembatasan dari PLN (pemadaman bergilir).
4. Beban yang berlebih pada gardu sehingga seluruh distribusi padam.
5. Kecelakaan dan lain sebagainya.

---

<sup>4</sup> R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso and H. W. Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, (Second Edition, 2004), h 20

*Sag* adalah penurunan nilai rms tegangan atau arus pada frekuensi daya selama durasi waktu dari 0,5 *cycles* – 30 *cycles* dan rentang perubahan dari 0,1 sampai 0,9 *pu* pada harga rms besaran tegangan atau arus.<sup>5</sup> *Voltage sag* biasanya berhubungan dengan kesalahan sistem, tetapi juga dapat disebabkan oleh pembebanan yang berat atau penggunaan motor berdaya besar.

Kebalikan dari *sag*, *swell* adalah fenomena naiknya rms tegangan atau arus pada frekuensi daya selama durasi waktu dari 0,5 *cycles* (0,01 detik) sampai 1 menit dan rentang perubahan dari 1,1 sampai 1,8 *pu* pada harga rms besaran tegangan atau arus.<sup>6</sup> Salah satu penyebab terjadinya *voltage swell* adalah dimatikannya beban-beban berat.

Kedua fenomena tersebut saling berhubungan satu dengan yang lainnya. Dapat kita analogikan kedua fenomena memiliki Gejala Transient yang tidak seimbang. Ketika keduanya sama-sama menarik, maka kelompok yang lemah akan tertarik ke arah kelompok yang kuat (*Voltage sag*), namun begitu kelompok yang kuat melepaskan tarikannya secara mendadak, maka kelompok yang lemah akan terpelempar ke belakang (*voltage swell*).

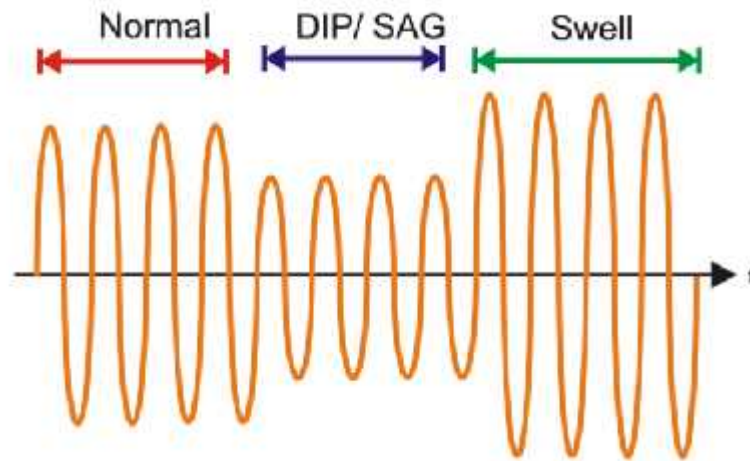
*Voltage sag* terjadi di antara waktu terjadinya gangguan sampai peralatan proteksi bekerja. Itu mengakibatkan pada sisi beban akan mengalami *voltage sag*. Durasi dari *sag* bergantung pada dinamika motor

---

<sup>5</sup> R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso and H. W. Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, (Second Edition, 2004), h 20

<sup>6</sup> R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso and H. W. Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, (Second Edition, 2004), h 23

dan dinamika motor tersebut ditentukan oleh parameternya, khususnya inersia motor. Pada kasus *voltage sag* karena penyalan motor yang besar, *voltage sag* yang terjadi biasanya tidak terlalu signifikan tapi berlangsung dalam waktu yang relatif lama



**Gambar 2.1 Voltage Sag Dan Voltage swell**

Sumber : Iwa Garniwa, *Peningkatan Kualitas Daya Listrik*, (Tridinamika news, November, 2010), 3

Durasi tegangan kedip dapat dibagi menjadi 3 kategori, yaitu : *instantaneous* , *momentary* dan *temporary*.

*Instantaneous* adalah perubahan tegangan yang terjadi dalam waktu seketika. *Momentary* adalah perubahan tegangan yang terjadi dalam waktu sebentar. *Temporary* adalah perubahan tegangan yang terjadi dalam waktu sementara. Pembagian durasi ini sesuai dengan waktu operasi peralatan proteksi sebagaimana pembagian durasi yang direkomendasikan oleh Organisasi Teknik Internasional. Pembagian durasi dapat dilihat pada tabel 2.1.

NO	Categories	Typical Duration	Typical Voltage Magnitude
1	<i>Instantaneous</i>		
	<i>Interruption</i>	0,5 - 30 cycles	< 0,1 pu
	<i>sag</i>	0,5 - 30 cycles	0,1 - 0,9 pu
	<i>swell</i>	0,5 - 30 cycles	1,1 - 1,8 pu
2	<i>Categories</i>	<i>Typical Duration</i>	<i>Typical Voltage Magnitude</i>
	<i>Momentary</i>		
	<i>Interruption</i>	30 cycles - 3 s	< 0,1 pu
	<i>sag</i>	30 cycles - 3 s	0,1 - 0,9 pu
	<i>swell</i>	30 cycles - 3 s	1,1 - 1,4 pu
3	<i>Categories</i>	<i>Typical Duration</i>	<i>Typical Voltage Magnitude</i>
	<i>Temporary</i>		
	<i>Interruption</i>	3 s - 1 min	< 0,1 pu
	<i>sag</i>	3 s - 1 min	0,1 - 0,9 pu
	<i>swell</i>	3 s - 1 min	1,1 - 1,2 pu

**Tabel 2.1 Kategori Dan Karakteristik Dari Kedip Tegangan**

Sumber: R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso and H. W. Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, (Second Edition, 2004), h 14

### 2.1.3. Penyebab Kedip Tegangan

Secara umum, ada dua penyebab terjadinya kedip tegangan, yaitu dikarenakan oleh adanya kegagalan (*fault*) dalam sistem dan penyalaan motor induksi berdaya besar. Pada dunia industri penggunaan motor listrik kapasitas besar sangat diperlukan untuk mendukung proses produksi, tetapi tidak dapat dipungkiri bahwa penggunaan motor listrik berdaya besar tersebut memiliki dampak yang merugikan yaitu pada saat *starting* akan menarik arus *start* tegangan penuh agar dapat memperoleh torsi *starting* yang cukup untuk mulai berputar. Oleh karena itu, Kedip tegangan merupakan permasalahan yang sangat penting dalam menjaga kualitas daya yang akan disalurkan kepada konsumen.

Namun secara luas Kedip Tegangan dapat disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut, diantaranya:

1. *Starting* motor berdaya besar, pada saat melakukan *start* awal pada motor berdaya besar pada umumnya akan timbul kedip tegangan. Hal ini dikarenakan motor memiliki pengaruh yang sangat merugikan ketika melakukan *start* awal, yaitu timbulnya arus beban penuh yang sangat besar nilainya. Arus yang memiliki nilai sangat besar ini akan mengalir melalui impedansi sistem, sehingga menimbulkan *sag* yang dapat menyebabkan kedip pada lampu, tidak dapat berfungsinya kontaktor, dan mengganggu peralatan listrik yang sensitif terhadap variasi tegangan.
2. Pembebanan yang besar pada sistem, ketika sistem diberikan beban yang sangat besar, maka akan mengalir arus yang melebihi arus yang mengalir pada saat sistem diberi beban normal. Karena *supply* dan pemasangan kabel pada awalnya diperuntukkan untuk mengalirkan arus pada kondisi normal, maka dengan mengalirnya arus yang sangat besar akan mengakibatkan terjadinya tegangan jatuh antara titik sumber dengan titik pembebanan. Kedip tegangan yang disebabkan oleh arus *starting* memiliki karakteristik lebih dalam dan lebih lama durasi waktunya dibandingkan dengan Kedip tegangan yang disebabkan oleh gangguan pada sistem.
3. Gangguan hubung singkat pada sistem distribusi, pada umumnya lebih dari 70 % kedip tegangan terjadi karena gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah yang terjadi disuatu titik pada sistem. Gangguan hubung

singkat satu fasa ke tanah ini dapat menyebabkan terjadinya kedip tegangan pada penyulang yang lain dari gardu induk yang sama. pada umumnya gangguan tersebut terjadi akibat sambaran petir, cabang pohon yang menyentuh saluran SUTM (saluran udara tegangan menengah), dan kontak dari hewan seperti burung. dan untuk kedip tegangan yang terjadi karena gangguan hubung singkat dua fasa dapat disebabkan oleh cabang pohon yang menyentuh saluran SUTM (saluran udara tegangan menengah), cuaca yang kurang baik, dan kontak hewan pada saluran SUTM (saluran udara tegangan menengah). Sedangkan untuk kedip tegangan yang terjadi karena gangguan hubung singkat tiga fasa terjadi dikarenakan adanya peristiwa *switching* atau *tripping dari circuit breaker* (PMT) tiga fasa, peristiwa tersebut akan menyebabkan terjadinya kedip tegangan pada penyulang yang lain dari gardu induk yang sama.

#### **2.1.4. Dampak Kedip Tegangan**

Dampak utama dari kedip tegangan dapat berpengaruh fatal pada mesin-mesin produksi. Ketika terjadi kedip tegangan, mesin sinkron bisa kehilangan sinkronisasi, motor induksi bisa mengalami penurunan kecepatan dan torsi motor akan turun secara drastis bahkan dapat terjadi *stall*. Pada saat *recovery* tegangan, motor akan berakselerasi kembali dengan cepat. Hal ini akan memicu terjadinya *inrush current* yang besarnya hampir sama dengan pada saat pertama kali *start*. Sementara itu, peralatan ASD (*Adjustable Speed Driver*) biasanya akan trip bila kedalaman penurunan tegangan melebihi 15%.

Pada peralatan kontrol yang berbasis mikroprosesor atau mikrokontroler, interupsi tegangan dapat berakibat hilangnya catu daya ke memory sehingga sistem akan reset begitu juga pada *Programmable Logic Controller* (PLC) yang bisa mengalami *shut off* karena tegangan *supply* tidak sesuai dengan nilai nominal operasi.

Karakteristik operasi beberapa peralatan listrik terhadap variasi tegangan adalah sebagai berikut :<sup>7</sup>

1. Rangkaian relai dan kontaktor akan trip pada tegangan dibawah 70% tegangan nominal untuk waktu yang cepat.
2. Lampu *flourescent* dan lampu *high intensity discharge* (HID) akan padam pada tegangan dibawah 80% dalam waktu beberapa *cycle*, sedangkan waktu penyalaan kembali memerlukan waktu yang cukup lama terutama lampu *high intensity discharge* (HID).
3. PLC akan trip pada tegangan kurang dari 90% untuk waktu kurang dari 50 detik.
4. Pada pemrosesan data atau komputer, data akan langsung hilang bila tegangan dibawah 50% untuk waktu beberapa *cycle*.

#### **2.1.5. Batasan Nilai Kedip Tegangan**

Nilai dari kedip tegangan harus diperhatikan agar tidak mempengaruhi kerja dari peralatan-peralatan elektronik ataupun peralatan-peralatan kontrol dalam suatu pabrik/industri. Tegangan sistem distribusi

---

<sup>7</sup> Dave M, Mark McGranaghan, *Effect of Voltage Sags in Proses Industry Aplication*, <http://www.dranetz-bmi.com/pdf/ProcessIndustryApplications.pdf>, oktober 2015



harus dijaga pada batas-batas kondisi normal yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominal.<sup>8</sup>

Lokasi <i>drop</i> tegangan	Tegangan minimum yang diperbolehkan (% <i>rating</i> peralatan)
Terminal motor yang diasut	80%
Terminal motor lain yang memerlukan re-akselerasi	71%
Kontaktor AC <i>trip</i> (menurut standar)	85%
Kontaktor DC <i>trip</i> (menurut standar)	80%
Kontaktor <i>hold-in</i>	60 – 70%
Piranti kontrol <i>solid-state</i>	90%
Tipikal peralatan elektronik	80%
Ballast lampu Metal halide atau HP sodium	90%

**Tabel 2.2 Sensitivitas peralatan terhadap *temporary low-voltage***

Sumber : Turan Gonen., *Electricity Power Distribution System Engineering*.  
Mcgraw- Hill Book Company, 1987.

<sup>8</sup> Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. Hal 9

### 2.1.6. Motor Induksi

Motor arus bolak-balik (motor induksi) adalah suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik atau tenaga gerak, dimana tenaga gerak ini berupa perputaran pada poros motor. Salah satu jenis motor AC ini adalah motor induksi atau motor tak serempak.<sup>9</sup> Motor induksi mengubah energi listrik menjadi energi gerak dengan menggunakan gandingan medan listrik dan mempunyai slip antara medan stator dan medan rotor. Pada motor induksi arus rotor bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh stator. Motor induksi 3 phasa adalah alat penggerak yang paling banyak digunakan dalam dunia industri. Hal ini dikarenakan motor induksi mempunyai konstruksi yang sederhana, kokoh, harganya relatif murah, serta perawatannya yang mudah, sehingga motor induksi mulai menggeser penggunaan motor DC pada industri. Motor induksi memiliki beberapa parameter yang bersifat non-linier, terutama resistansi rotor, yang memiliki nilai bervariasi untuk kondisi operasi yang berbeda. Hal ini yang menyebabkan pengaturan pada motor induksi lebih rumit dibandingkan dengan motor DC.

Salah satu kelemahan dari motor induksi adalah tidak mampu mempertahankan kecepatannya dengan konstan bila terjadi perubahan beban. Apabila terjadi perubahan beban maka kecepatan motor induksi akan menurun. Untuk mendapatkan kecepatan konstan serta memperbaiki

---

<sup>9</sup> Abdul Kadir. "Mesin Induksi" Penerbit Djambatan. 2003

kinerja motor induksi terhadap perubahan beban, maka dibutuhkan suatu pengontrol. Penggunaan motor induksi tiga fase di beberapa industri membutuhkan performansi yang tinggi dari motor induksi untuk dapat mempertahankan kecepatannya walaupun terjadi perubahan beban.



**Gambar 2.2 Motor Induksi**

Sumber: Rockwell Automation., *Application Basics Of Operation Of Three-Phase Induction Motors*. Switzerland: WP-Motors, 1996.

#### **2.1.6.1. Klasifikasi Motor Induksi**

Motor induksi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama:<sup>10</sup>

1. Motor induksi satu fase, motor ini hanya memiliki satu gulungan *stator*, beroperasi dengan pasokan daya satu fase, memiliki sebuah rotor kandang tupai, dan memerlukan sebuah alat untuk menghidupkan motornya. Sejah ini motor ini merupakan jenis motor yang paling umum digunakan dalam peralatan rumah tangga,

---

<sup>10</sup> Parekh, R, *AC Induction Motor Fundamentals*, Microchip Technology Inc. AN887. 2003

seperti kipas angin, mesin cuci, pengering pakaian, dan untuk penggunaan hingga 3 sampai 4 Hp.

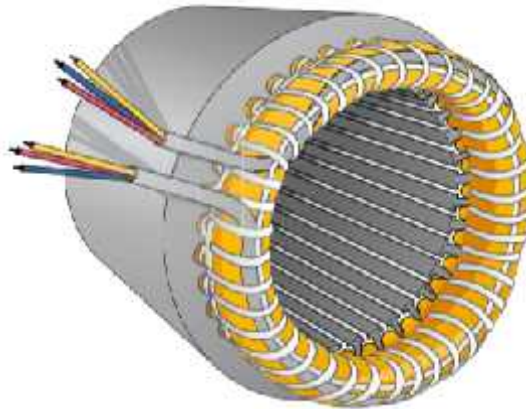
2. Motor induksi 3 phasa, medan magnet yang berputar dihasilkan oleh pasokan tiga phasa yang seimbang. Motor tersebut memiliki kemampuan daya yang tinggi, dapat memiliki kandang tupai atau gulungan rotor (walaupun 90% memiliki rotor kandang tupai), dan penyalaan sendiri. Diperkirakan bahwa sekitar 70% motor di industri menggunakan jenis ini, sebagai contoh, pompa, kompresor, *belt conveyor*, dan jaringan listrik. Tersedia dalam ukuran 1/3 hingga ratusan HP.

#### **2.1.6.2. Kontruksi Motor Induksi**

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri atas dua bagian, yaitu: bagian *stator* dan bagian rotor. *Stator* adalah bagian motor yang diam terdiri: badan motor, inti stator, belitan *stator*, *bearing* dan terminal *box*. Bagian rotor adalah bagian motor yang berputar, terdiri atas rotor sangkar dan poros rotor.

##### **1. Stator**

Stator adalah bagian dari mesin yang tidak berputar dan terletak pada bagian luar. Dibuat dari besi bundar berlaminasi dan mempunyai alur-alur sebagai tempat meletakkan kumparan.

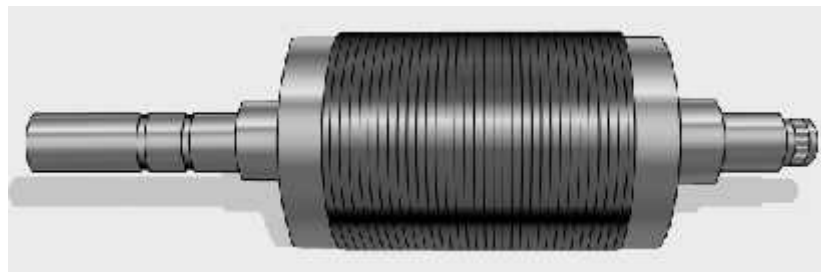


**Gambar 2.3 Stator Motor Induksi**

Sumber: Grundfos Motor Book, *Elektrical Motor Basic*, (Grundfos management A/S, 2004), h 15

## 2. Rotor

Rotor adalah bagian dari mesin yang berputar dan terletak pada bagian dalam stator. Terbuat dari besi laminasi yang mempunyai slot dengan batang aluminium / tembaga.



**Gambar 2.4 Rotor Motor Induksi**

Sumber: Grundfos Motor Book, *Elektrical Motor Basic*, (Grundfos management A/S, 2004), h 16

### 2.1.6.3. Jenis Motor Induksi Tiga Fasa Dari Segi Rotor

Ada dua jenis motor induksi tiga fasa berdasarkan rotornya yaitu:

1. Motor induksi tiga fasa rotor sangkar tupai (*squirrel-cage motor*).

Rotor sangkar adalah bagian dari mesin yang berputar bebas dan letaknya bagian dalam. Terbuat dari besi laminasi yang mempunyai slot dengan batang aluminium / tembaga yang dihubungkan singkat pada ujungnya. Penampang motor sangkar tupai memiliki konstruksi yang sederhana. Inti stator pada motor sangkar tupai tiga fasa terbuat dari lapisan-lapisan 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 ataupun bintang. Batang rotor dan cincin ujung motor sangkar tupai yang lebih kecil adalah coran tembaga atau aluminium dalam satu lempeng pada inti rotor. Dalam motor yang lebih besar, batang rotor tidak dicor melainkan dibenamkan ke dalam alur rotor dan kemudian dilas dengan kuat ke cincin ujung. Batang rotor motor sangkar tupai tidak selalu disempatkan paralel terhadap poros motor tetapi dimiringkan. Hal ini akan menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi derau dengung magnetik sewaktu motor sedang berputar. Pada ujung cincin penutup diletakkan sirip yang berfungsi sebagai pendingin. Rotor sangkar mempunyai karakteristik yaitu: tahanan rotor tetap, arus *starting* tinggi, dan torsi *starting* rendah.

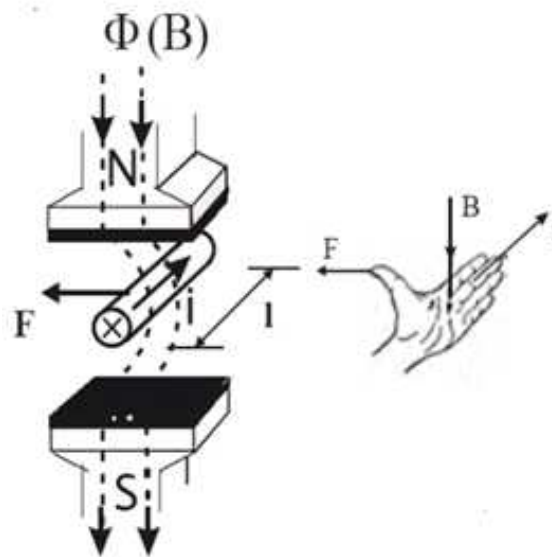
## 2. Motor induksi tiga fasa rotor sangkar belitan (*wound-rotor motor*).

Rotor sangkar belitan merupakan kumparan yang dihubungkan bintang dibagian dalam dan ujung yang lain dihubungkan dengan cincin geser (*slip ring*) ke tahanan luar. Kumparan dapat dikembangkan menjadi pengaturan. Untuk kecepatan putaran motor,

pada kinerja normal cincin geser hubung singkat secara otomatis, sehingga rotor bekerja seperti rotor sangkar. Namun dalam hal konstruksi rotor sangkar belitan berbeda dengan rotor sangkar tupai, pada rotor sangkar belitan motor dililit dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. Lilitan fasa rotor dihubungkan secara *star* dan masing-masing fasa ujung terbuka yang dikeluarkan ke cincin slip yang terpasang pada poros rotor. Pada motor ini, cincin slip yang terhubung ke sebuah tahanan variabel *eksternal* yang berfungsi membatasi arus pengasutan dan yang bertanggung jawab terhadap pemanasan rotor. Selama pengasutan, penambahan tahanan eksternal pada rangkaian rotor belitan menghasilkan torsi pengasutan yang lebih besar dengan arus pengasutan yang lebih kecil dibanding dengan rotor sangkar.

#### **2.1.6.4. Sistem Kerja Motor Induksi**

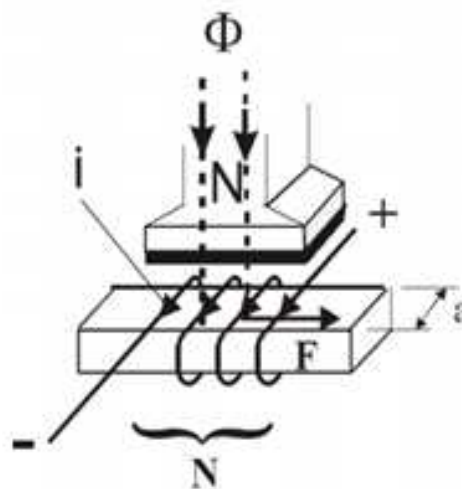
Prinsip kerja motor induksi tiga fasa didasarkan pada hukum Faraday (tegangan induksi akan ditimbulkan oleh perubahan induksi magnetik pada suatu lilitan) dan hukum Lorentz. (perubahan magnetik akan menimbulkan gaya).



**Gambar 2.5 Hukum Faraday**

Sumber: Awan A Frima-Nugroho N Dyto-Ellan S Siregar, "Motor Induksi 3 Phasa", (staff.ui.ac.id. diakses 20 Oktober 2015)

Prinsip dasar dapat dijelaskan sebagai berikut: Tegangan induksi akan timbul pada setiap konduktor diakibatkan oleh medan magnet yang memotong konduktor (hukum Faraday). Arus listrik ( $i$ ) yang dialirkan di dalam suatu medan magnet dengan kerapatan *fluks* ( $B$ ) akan menghasilkan suatu gaya ( $F$ ).



**Gambar 2.6 Hukum Lorentz**

Sumber: Awan A Frima-Nugroho N Dyto-Ellan S Siregar, "Motor Induksi 3 Phasa", (staff.ui.ac.id. diakses 20 Oktober 2015)



Nilai  $F$  dipengaruhi banyaknya lilitan. Bila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator, maka pada kumparan stator akan timbul medan putar dengan kecepatan:

$$N_s = \frac{1}{p} f \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

$N_s$  = Kecepatan sinkron

$f$  = frekuensi sumber

$P$  = Jumlah kutub

Medan putar stator akan memotong konduktor yang terdapat pada sisi rotor, akibatnya pada kumparan rotor akan timbul tegangan induksi (ggl) sebesar:

$$E_{2s} = 4,44 f N Q \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

$E_{2s}$  = Tegangan induksi ggl

$f$  = Frekuensi

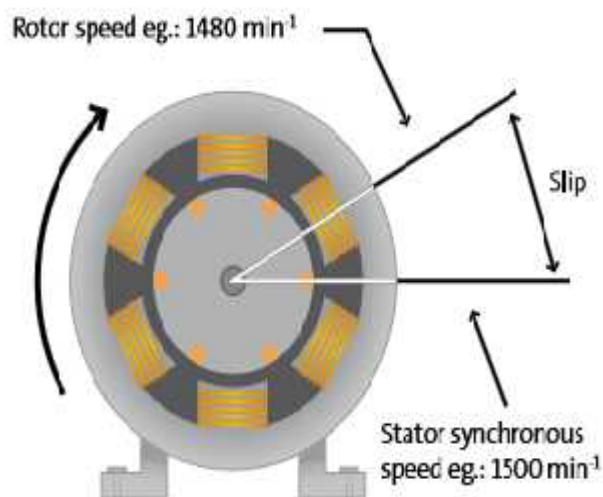
$N$  = Banyak lilitan

$Q$  = Fluks

Karena kumparan rotor merupakan kumparan rangkaian tertutup, maka tegangan induksi akan menghasilkan arus ( $I$ ). Adanya arus dalam

medan magnet akan menimbulkan gaya (F) pada rotor. Bila torsi awal yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul torsi beban, maka rotor akan berputar searah dengan arah medan putar stator. Untuk membangkitkan tegangan induksi  $E_2s$  agar tetap ada maka diperlukan adanya perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator ( $n_s$ ) dengan kecepatan putar rotor ( $n_r$ ). Perbedaan antara kecepatan  $n_r$  dengan  $n_s$  disebut dengan slip (S) yang dinyatakan dengan persamaan:

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$



**Gambar 2.7 Slip Pada Motor Induksi**

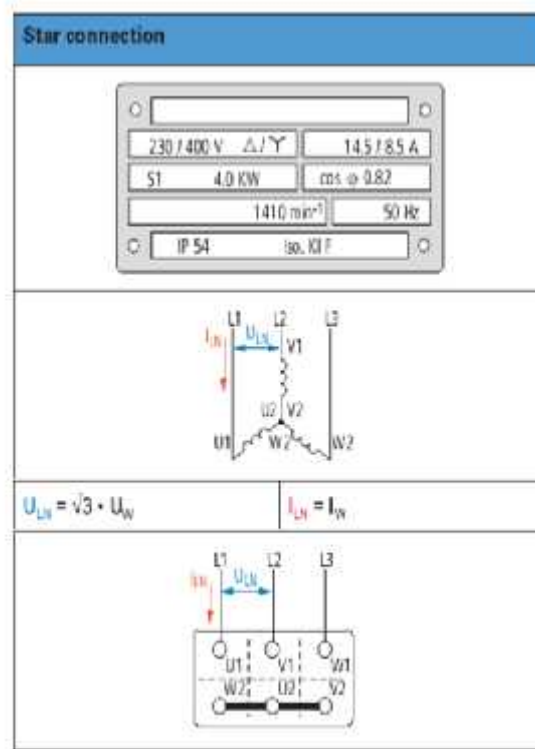
Sumber: Grundfos Motor Book, *Elektrical Motor Basic*, (Grundfos management A/S, 2004), h 17

AC motor yang dikenal sebagai motor asynchronous. Hal ini karena bidang rotor tidak mengikuti medan stator dalam gerakan sempurna sinkron. Di AC motor, torsi dan kecepatan dikembangkan oleh interaksi antara rotor dan medan magnet berputar dari stator. Selama operasi yang sebenarnya, kecepatan rotor selalu tertinggal medan magnet stator. Hal ini memungkinkan medan magnet rotor untuk memotong

medan magnet stator dan dengan demikian menghasilkan torsi. Perbedaan dalam kecepatan antara rotor dan stator bidang, disebut tergelincir dan diukur dalam %. Slip merupakan faktor kunci dan diperlukan untuk menghasilkan torsi. Semakin besar beban - torsi - slip yang lebih besar.

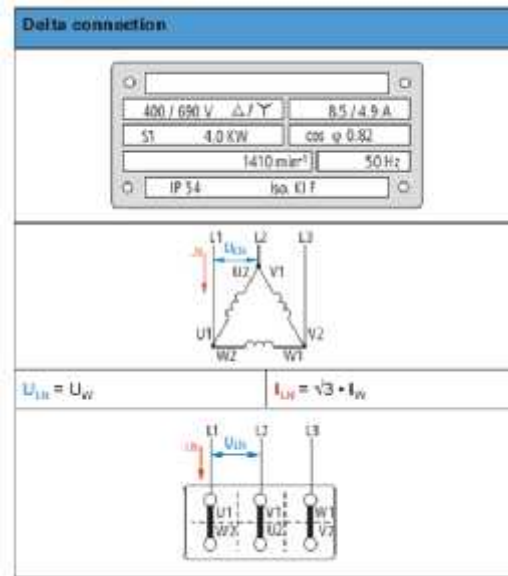
### 2.1.7. Hubungan Motor Induksi Tiga Fasa

Jika motor induksi tiga fasa dihubungkan ke sumber tegangan, data pada pelat nama motor harus disesuaikan dengan sumber tegangan dan frekuensinya. Hubungan diimplementasikan melalui enam terminal (versi standar). Pada kotak terminal motor dan perbedaannya antara dua jenis rangkaian, hubungan bintang dan hubungan segitiga. Contoh untuk sumber tegangan fasa 400 Volt, 50 Hz (pada gambar 2.8 dan 2.9).



**Gambar 2.8 Hubung Bintang**

Sumber: M. Mustaghfirin Amin, Instalasi Motor Listrik.  
(Jakarta: Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan Republik Indonesia, 2013), 15



**Gambar 2.9 Hubung Segitiga**

Sumber: M. Mustaghfirin Amin, Instalasi Motor Listrik.

(Jakarta: Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan Republik Indonesia, 2013), 16

Bagaimanapun juga rancangan pabrikan sangat dominan. Contoh, yang ada di pasaran untuk daya output motor yang kecil (<4 kW) secara khusus digunakan pada pompa dan kipas, kadang-kadang kita temukan motor tanpa kotak terminal. Disini kumparan dihubungkan dibagian dalam motor dan hanya tiga kabel yang dapat dihubungkan untuk tegangan tertentu.

### 2.1.8. Starting Motor Induksi

Motor induksi merupakan suatu motor yang dicatu oleh arus bolak-balik pada statornya secara langsung dan pada rotor dengan cara menginduksikannya. Pada saat *starting* rotor dalam keadaan diam, besarnya slip = 1, dan besarnya frekuensi rotor sama dengan frekuensi stator. Medan yang dihasilkan oleh arus rotor membuat rotor berputar pada kecepatan yang sama dengan medan stator, dan menghasilkan suatu *starting* mula dengan tegangan yang mengalami penurunan yang

diakibatkan oleh arus *starting* yang tinggi sekitar 4-8 kali arus nominal, alasannya adalah selama *starting* bila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator, maka pada kumparan stator akan timbul medan putar dengan kecepatan sinkronnya. Medan putar stator akan memotong konduktor yang terdapat pada sisi rotor, akibatnya pada kumparan rotor akan timbul tegangan induksi (ggl), karena saat rotor dalam keadaan diam kecepatan rotor adalah nol dan slip = 1 sehingga medan putar stator akan memotong konduktor menghasilkan arus tinggi. Jika kecepatan stator sama dengan kecepatan rotor, tegangan akan terinduksi dan arus tidak mengalir pada rotor, dengan demikian tidak ada torsi yang dapat dihasilkan. Torsi suatu motor akan timbul apabila kecepatan stator lebih besar dari kecepatan rotor.

Dalam perhitungan kedip tegangan, nilai *minimum symmetrical interrupting duty* pada titik sumber sistem harus diketahui. Kemudian, menghitung impedansi saluran sistem atau reaktansi antara titik sumber dan motor. Impedansi motor dapat dihitung berdasarkan katalog dari pabrik pembuatnya, yang biasanya diberikan nilai untuk tegangan penuh dan arus *locked-rotor*.

Persamaan berikut dapat digunakan untuk menentukan besar daya yang diperlukan untuk *start* motor:

$$S_S = S_r \times L \quad C \quad F \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

$S_S$  = Daya yang diperlukan untuk *start* motor (KVA)

$S_r$  = Daya nominal motor (HP)

*Letter Code Factor* = Faktor pengali (KVA/HP) berdasarkan jenis motor induksi yang dapat dilihat dalam tabel 2.4 berikut:

Huruf	Faktor Pengali (KVA/HP)
A	0 - 3,15
B	3,15 - 3,55
C	3,55 - 4,00
D	4,00 - 4,50

**Tabel 2.4 Faktor Pengali Daya Terhadap Daya Nominal Motor Induksi**

Sehingga besar arus *inrush* motor adalah:

$$I_s = \frac{S_s}{\sqrt{3} V_{nl}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

$I_s$  = Arus starting motor (Ampere)

$V_{nl}$  = Tegangan nominal saluran ke netral (Volt)

Dari *one line diagram* suatu sistem tenaga listrik, terdapat impedansi baik seri maupun paralel antara titik suplai sampai ke terminal motor. Prosedur perhitungan jatuh tegangan pada motor saat *starting* motor adalah dengan menghitung impedansi antara motor sampai pada titik dimana tegangan dapat diasumsikan konstan. Impedansi suatu motor dapat ditentukan dari katalog pabrikannya, yang biasanya memberikan data arus beban penuh dan arus *block rotor*.

Besar impedansi motor (ohm) adalah:

$$Z_m = \frac{V_n}{\sqrt{3} x I_b} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

$V_{nl}$  = tegangan *rating* motor saluran ke saluran (V)

$I_S$  = arus *starting* pada tegangan *rating* motor (A)

Prosentase impedansi motor dihitung dengan persamaan:

$$\%Z_{in} = \frac{1}{I_L / I_F} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

$I_{LR}$  = arus locked-rotor (A)

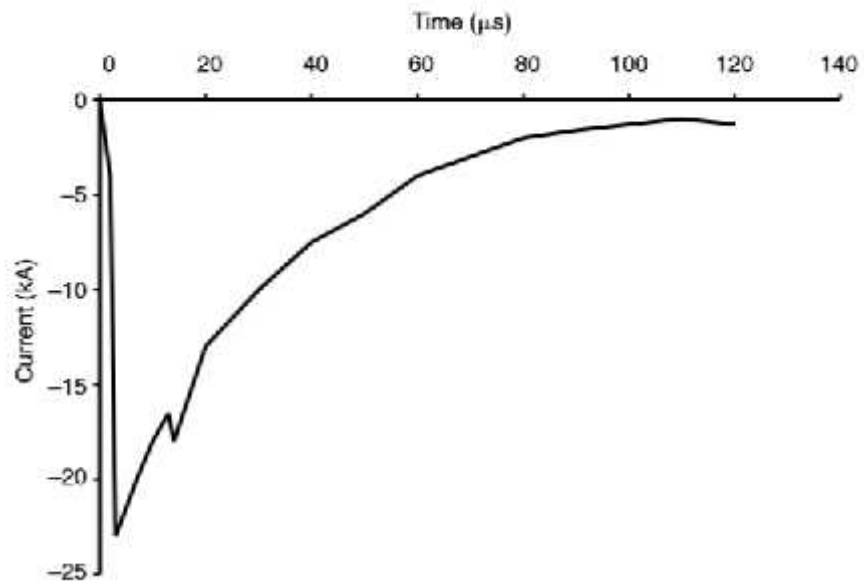
$I_{FL}$  = arus beban penuh/*full-load* (A)

Untuk mengetahui  $I_S$  saat dengan menggunakan pengasutan *direct on line* dengan menggunakan hubung bintang dapat menggunakan persamaan 2.7.

$$I_S = \frac{V_{n'} / \sqrt{3}}{Z_n} \dots\dots\dots(2.7)$$

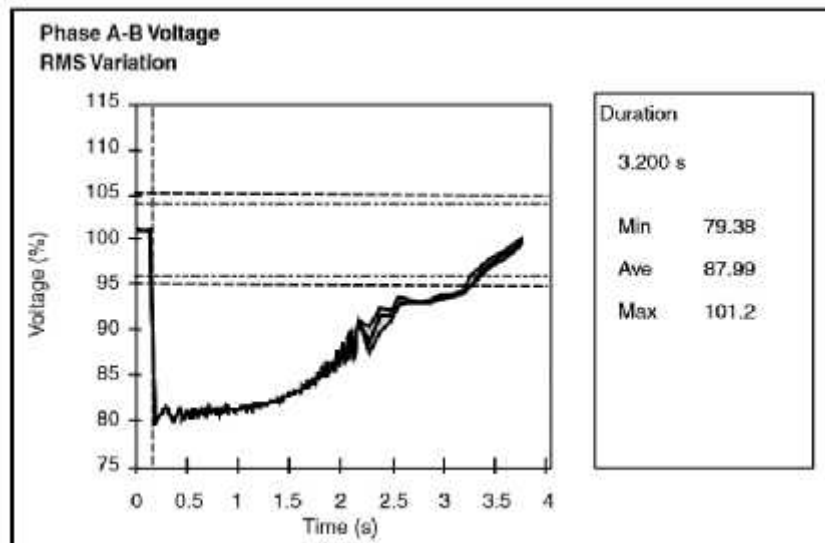
Dimana:

$I_S$  = arus starting hubung bintang (Ampere)



**Gamabar 2.10 Arus Saat Starting Motor Induksi**

Sumber: R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso and H. W. Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, (Second Edition, 2004), h 16



**Gamabar 2.11 Voltage Sag Akibat Starting Motor**

Sumber: R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso and H. W. Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, (Second Edition, 2004), h 22

Persamaan waktu *starting* motor:

$$t_A = \frac{j^f \cdot n}{9,5 \cdot m_E} \dots\dots\dots(2.8)$$



Dimana:

$t_A$  = waktu *starting* (s)

$J'$  = momen inersia penggerak ( $\text{Kgm}^2$ )

$n$  = kecepatan motor (*speed*/menit)

$m_D$  = percepatan torsi (Nm)

$$m_D = 1,5 \cdot m_n \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

$m_n$  = nilai torsi motor (Nm)

$$m_n = \frac{V_{nu} \cdot 6}{2 \cdot \pi \cdot n} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$= \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{6} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

= kecepatan sudut (*Rad/s*)

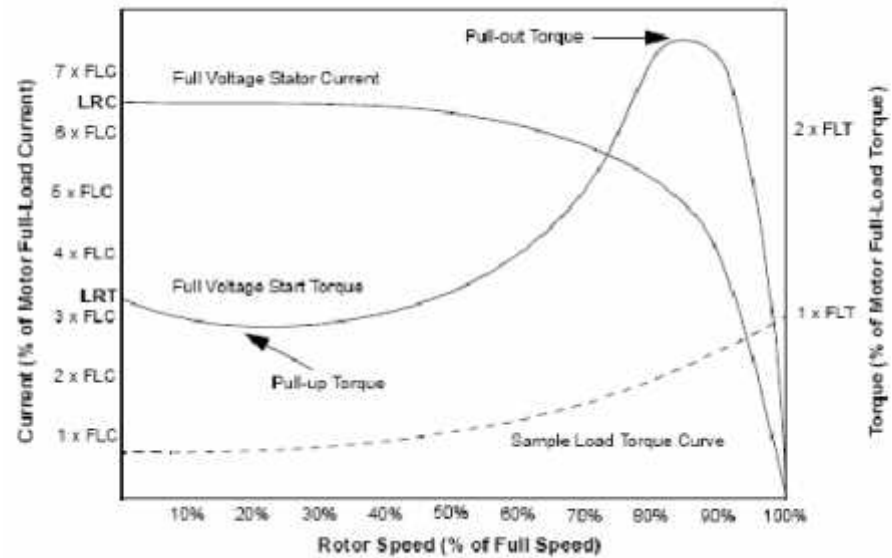
$n$  = kecepatan motor (rpm)

$$J' = \frac{I}{\alpha} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana:

$J'$  = momen inersia penggerak ( $\text{Kgm}^2$ )

$T$  = torsi (Nm)



**Gambar 2.12 Karakteristik Torsi Terhadap Kecepatan Motor**

Sumber:Hasim Akhmad, "Motor Listrik 3 Phasa" (<http://hasimakhmad.blogspot.co.id>. Diakses 22 Desember 2015)

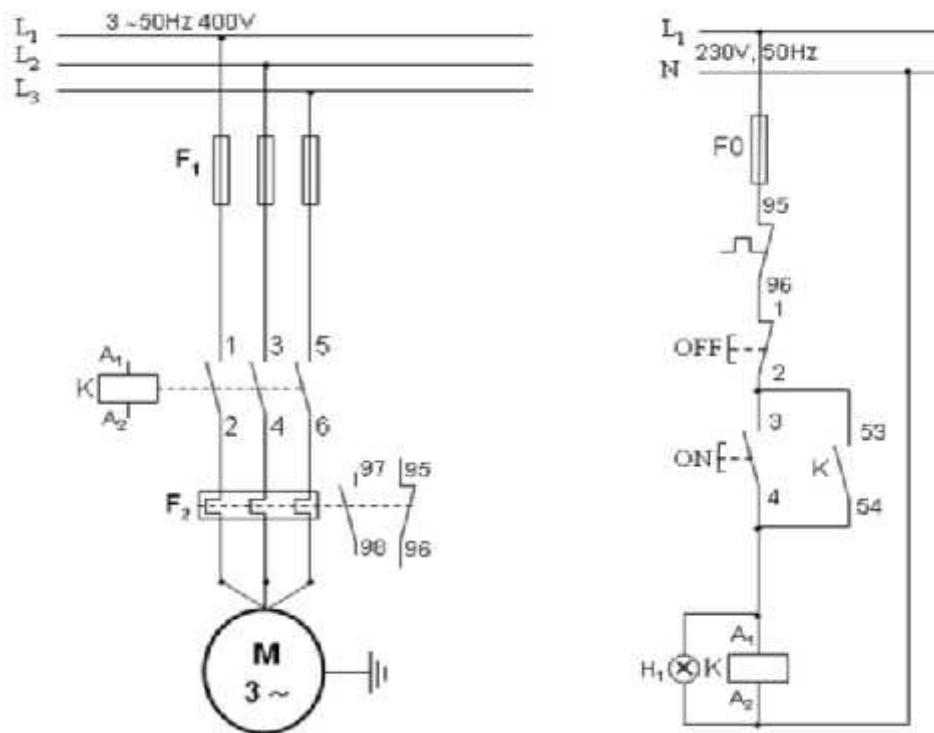
Dari gambar 2.12 ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Saat motor mulai menyala (*start*) ternyata terdapat arus nyala awal yang tinggi dan *torque* yang rendah (*pull-up torque*).
2. Mencapai 80% kecepatan penuh, *torque* berada pada tingkat tertinggi (*pullout torque*) dan arus mulai turun.
3. Pada kecepatan penuh, atau kecepatan sinkron, arus *torque* dan *stator* turun ke nol.

## 2.1.8. Metode Pengasutan Motor Induksi

### 2.1.8.1. Metode Pengasutan *Direct On Line*

*Direct on line* adalah metode pengasutan motor secara langsung dengan cara menyambungkan suplay utama langsung pada terminal motor. Penggunaan metode pengasutan ini hanya dapat digunakan untuk penggunaan motor dengan kapasitas daya kecil dengan kapasitas dibawah 5 kW.



**Gambar 2.13 Diagram Daya dan Diagram Kontrol Metode *Direct On Line***

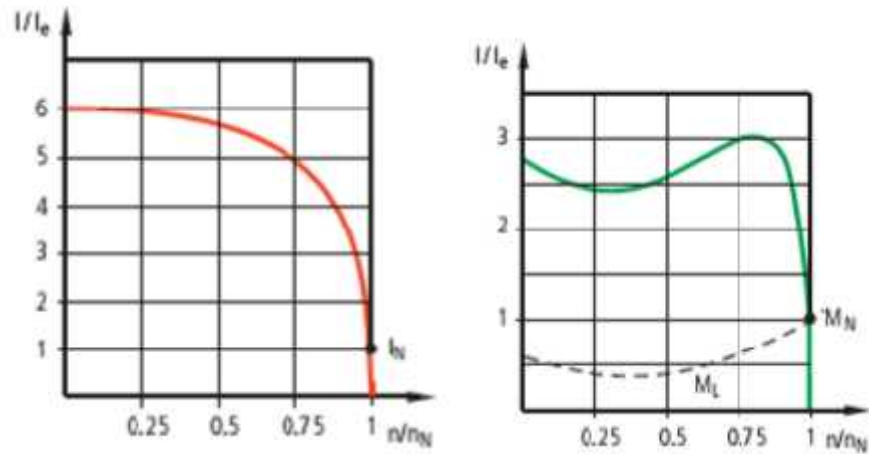
Sumber: M. Mustaghfirin Amin, Instalasi Motor Listrik.

(Jakarta: Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan Republik Indonesia, 2013), h 11

Sistem kerja:

Saat tombol *start* ditekan tegangan akan masuk melalui kontaktor (A1 dan A2), Arus ini akan mengaktifkan kumparan kontaktor sehingga kontaktor akan menutup untuk menghubungkan *supply* 3 fasa ke motor. Jika tombol *start* dilepaskan rangkaian kendali akan tetap dipertahankan seperti semula melalui sebuah kontak penahan. Jika selanjutnya tombol *stop* ditekan atau jika kumparan-kumparan beban lebih bekerja maka rangkaian kendali akan terputus dan kontaktor akan membuka untuk memutuskan suplay listrik 3 fasa ke motor. Penghubungan kembali suplay ke motor hanya dapat dilakukan dengan menekan kembali tombol

*start*, jadi rangkaian ini juga dapat memberi proteksi terhadap kehilangan tegangan suplay.



**Gambar 2.14 Karakteristik Arus, Torsi dan Kecepatan Untuk Metode *Direct On Line***

Sumber: M. Mustaghfirin Amin, Instalasi Motor Listrik. (Jakarta: Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan Republik Indonesia, 2013), 9.

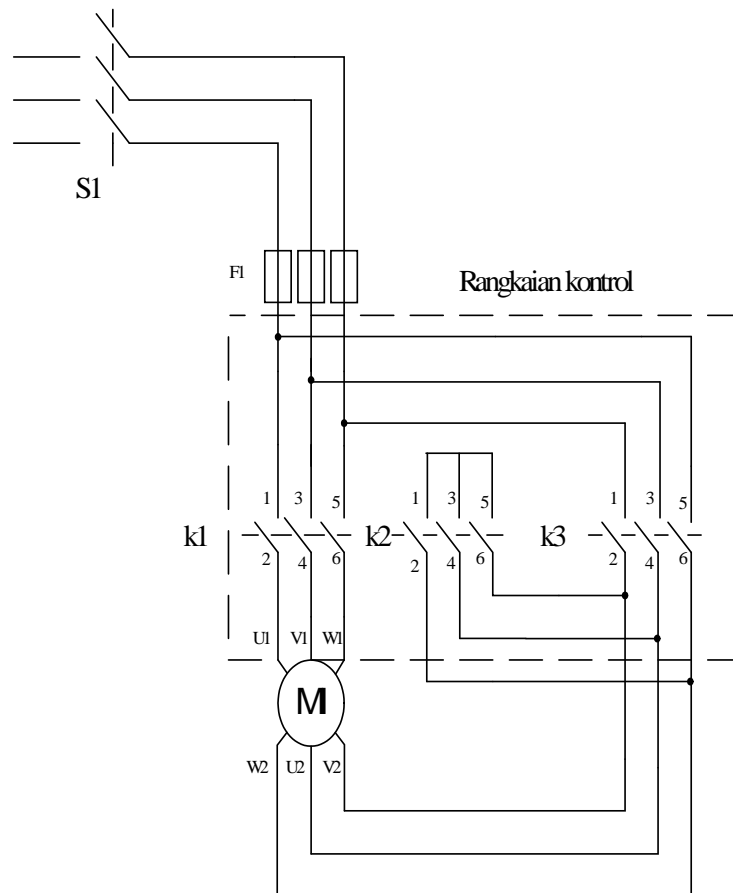
Karakteristik umum:

- Arus *start* 4 sampai 8 kali arus nominal.
- Torsi *start* 0,5 kali sampai 1,5 torsi nominal.

#### 2.1.8.2. Metode Pengasutan *Star Delta*

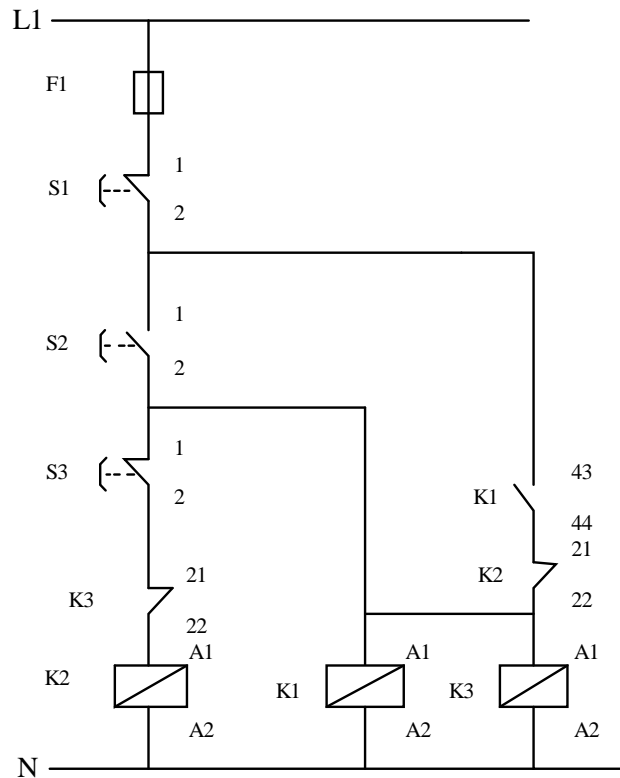
Pengasutan *star-delta* pada umumnya dipakai pada motor induksi dengan daya menengah dan besar antara 10 KW sampai 50 KW. Pengasutan *star-delta* menggunakan arus *star* dan *delta* serta tegangan terkait. Saat motor terhubung bintang arus *starting* hanya digunakan sepertiga dari arus *starting* jika dalam hubungan segitiga. Sebuah lilitan stator motor induksi pertama-tama dihubungkan dalam bentuk rangkaian *star* dan selanjutnya dihubungkan pada *delta*. Untuk melakukan hal ini, motor harus memiliki enam ujung lilitan stator yang dibawa menuju terminal-terminal motor.

Prinsip kerjanya adalah sebagai berikut: pada posisi *start*, belitan terhubung bintang/*star*, sedangkan pada posisi *running* belitan terhubung delta. Tegangan yang melewati masing-masing fasa belitan pada posisi *start* bintang adalah 58% atau  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  dari tegangan hubungan delta, dengan konsekuensi arus yang mengalir berkurang saat *starting*.



**Gambar 2.15 Diagram Daya Metode *Star -Delta***

Sumber: Dokumen Pribadi



**Gambar 2.16 Rangkaian Kontrol Metode *Star-Delta***

Sumber: Dokumen Pribadi

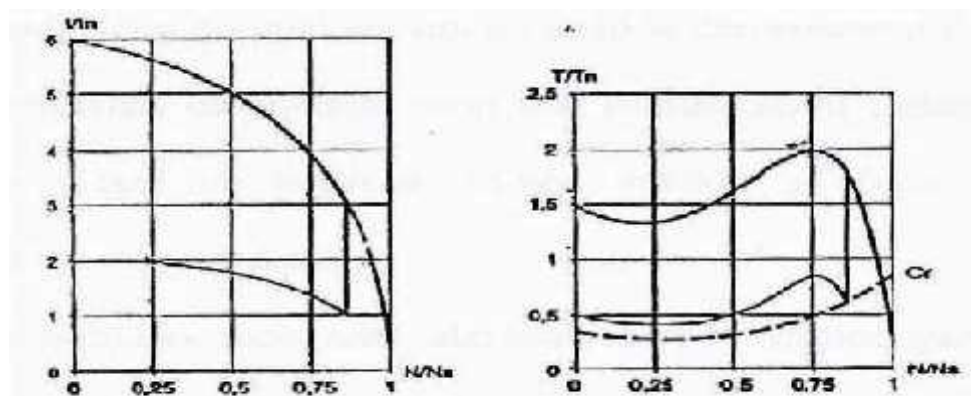
Sistem kerja:

Saat tombol *start* 1 ditekan tegangan akan masuk melalui k2 dan k1, *time delay* pada k2 akan mengatur lamanya *start* motor. Begitu *time delay* bekerja maka motor akan memasuki keadaan berjalan dan *switch* pada k2 dan k1 akan berpindah ke keadaan off dan *switch* pada k3 menjadi on sehingga kontaktor yang bekerja pada motor akan berpindah dari keadaan *star* ke *delta*. Pada waktu suplai berpindah dari *star* ke *delta* maka tegangan yang bekerja pada motor akan bertambah juga sebesar  $\sqrt{3}$ . Dengan cara kerja seperti ini maka pada waktu *starting* tegangan yang bekerja pada motor misalnya 208 V dapat dikurangi sebesar  $\sqrt{3}$  (58%) menjadi 120 V untuk masing-masing fasa dari tegangan kerja

motor dan akan bekerja penuh sebesar 208 V pada waktu pindah ke rangkaian *delta*. Dengan begitu otomatis arus yang bekerja pada waktu *start* dapat diperkecil walaupun torsi *start* menjadi lebih kecil tetapi masih cukup kuat untuk mengangkat beban.

Rincian kerja pengasutan *star-delta* dinamakan jenis transisi terbuka karena motor dalam sesaat diputus-hubungkan dari suplai selama perubahan keadaan dari *star* ke *delta*. Selama periode transisi ini, gelombang arus berkemungkinan akan terdapat pada jalur suplai. Untuk menghindari gelombang arus ini, pengasut jenis transisi tertutup bisa digunakan sebagaimana motor tetap terhubung ke jalur suplai melalui resistor selama perubahan keadaan dari *star* ke *delta*.

Pengasutan *star-delta* digunakan bila adanya kebutuhan terhadap waktu akselerasi yang panjang dan asut yang berkeseringan. Aplikasi praktis khusus tersebut mencakup beban kelembaman yang tinggi seperti pada *unit air-conditioning centrifugal*.

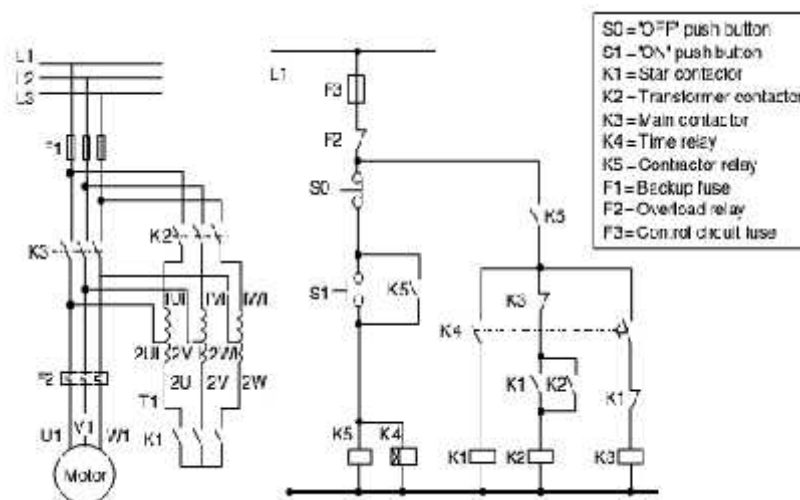


**Gambar 2.17 Karakteristik Torsi Terhadap Kecepatan dan Arus Terhadap Kecepatan Untuk Metode *Star-Delta***

Sumber: Smeaton, Robert, W. *Motor Application and Maintenance Handbook*.  
New York: McGraw-Hill Book Company, 1984. p. 265.

### 2.1.8.3. Metode Pengasutan Auto-transformator

Auto-transformator *starter* menggunakan auto-transformator untuk mengurangi tegangan selama periode awal dan kemudian menghubungkannya pada tegangan penuh untuk mendapatkan kecepatan yang cukup. Transformator memiliki berbagai tap yang dapat digunakan untuk menetapkan tegangan awal. Pengurangan tegangan awal dapat menyebabkan pengurangan arus pada motor. Selanjutnya dikurangi oleh transformator yang mengakibatkan arus *line* lebih kecil daripada arus motor sebenarnya. Biasanya sebuah auto-transformator menyediakan sejumlah tap untuk mengurangi tegangan ke terminal motor, sehingga mengurangi arus motor dan torsi saat pada *starting*. *Timer* atau dapat digunakan untuk mengubah pengaturan tap selama *start*.



**Gambar 2.18 Rangkaian Daya dan Rangkaian Pengendali Metode Autotransformator**

Sumber: M. Mustaghfirin Amin, Instalasi Motor Listrik. (Jakarta: Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan Republik Indonesia, 2013), 131.

Beberapa keuntungan menggunakan *starting* motor auto transformator:

1. Menyediakan torsi tertinggi per ampere arus *line*.



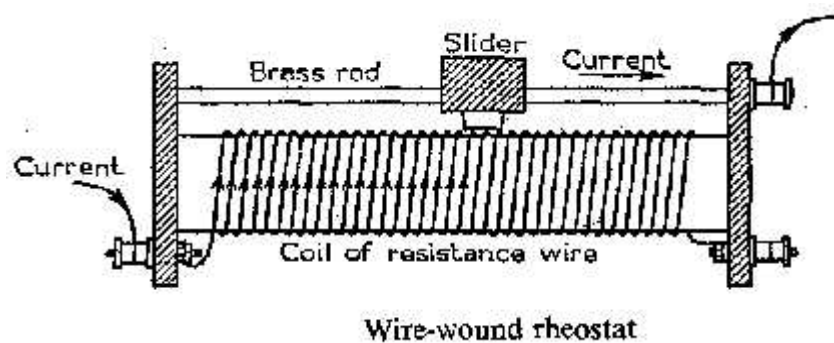
2. Tap pada autotransformer memberi pengaturan untuk tegangan *start*.
3. Cocok untuk periode *starting* yang lama.
4. Saat *starting*, arus motor lebih besar dari arus *line* nya.
5. Faktor daya yang rendah.

Beberapa kerugian menggunakan *starting* motor auto-transformator:

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

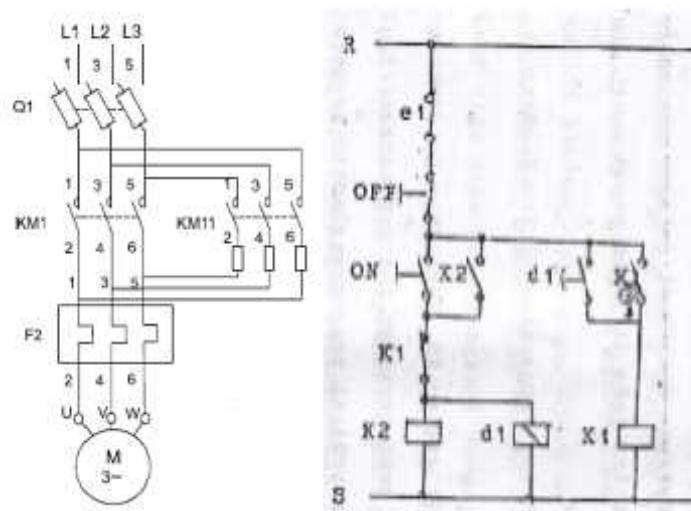
#### 2.1.8.4. Metode Pengasutan Rheostat

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



**Gambar 2.19 Rheostat**

Sumber: Google Image



**Gambar 2.20 Rangkaian Daya dan Rangkaian Pengendali Metode Rheostat**

Sumber: M. Mustaghfirin Amin, Instalasi Motor Listrik. (Jakarta: Kementerian Pendidikan Dan Kebudayaan Republik Indonesia, 2013), 21.

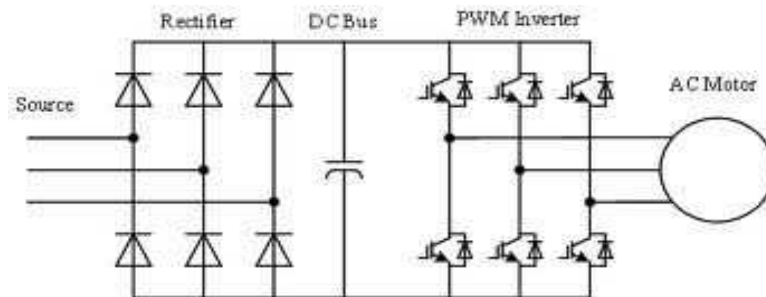
Saat asutan, pemutar (*handle*) rheostat diatur pada posisi *OFF* sehingga tahanan maksimum berada pada setiap fasa rangkaian stator. Hal tersebut untuk mereduksi arus *start* dan pada saat yang sama torsi *start* bertambah.

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

#### 2.1.8.5. Metode Pengasutan Inverter

Inverter merupakan sebuah alat pengatur kecepatan motor dengan mengubah nilai frekuensi dan tegangan yang masuk ke motor. Pengaturan nilai frekuensi dan tegangan ini dimaksudkan untuk

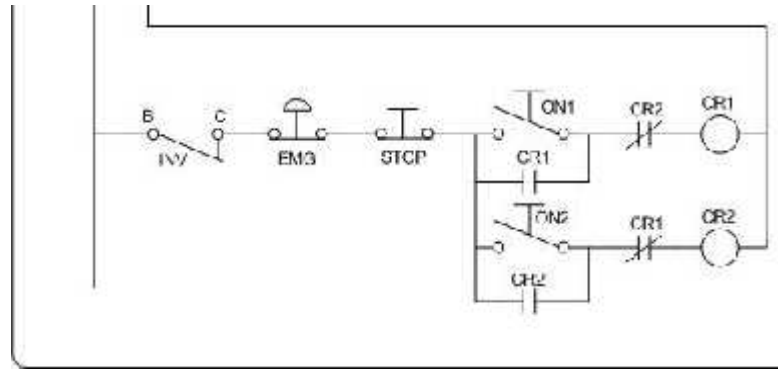
mendapatkan kecepatan putaran dan torsi motor yang diinginkan atau sesuai kebutuhan. Secara sederhana prinsip dasar inverter untuk dapat mengubah frekuensi menjadi lebih kecil atau lebih besar yaitu dengan mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC kemudian dijadikan tegangan AC lagi dengan frekuensi yang berbeda atau dapat diatur.



**Gambar 2.21 Rangkaian Daya Inverter**

Sumber: Google Image

Untuk mengubah tegangan AC menjadi DC dibutuhkan penyearah (converter AC-DC) dan biasanya menggunakan penyearah tidak terkendali (*rectifier* dioda) namun juga ada yang menggunakan penyearah terkendali (*thyristor rectifier*). Setelah tegangan sudah diubah menjadi DC, maka diperlukan perbaikan kualitas tegangan DC dengan menggunakan tandon kapasitor sebagai pembagi tegangan secara merata. Kemudian tegangan DC diubah menjadi tegangan AC kembali oleh inverter dengan teknik PWM (*pulse width modulation*). Dengan teknik PWM (*pulse width modulation*) juga menghasilkan harmonisa yang jauh lebih kecil dari pada teknik yang lain serta menghasilkan gelombang sinusoidal, dimana harmonisa akan menimbulkan rugi-rugi pada motor yaitu cepat panas. Maka dari itu teknik PWM (*pulse width modulation*) inilah yang biasanya dipakai dalam mengubah tegangan DC menjadi AC.



**Gambar 2.22 Rangkaian Pengendali Dengan Metode Inverter**

Sumber: Google Image

## 2.2. Kerangka Berfikir

Dengan menggambarkan sebuah sumber berupa generator memikul beban berupa motor induksi. untuk mengetahui drop tegangan pada sumber yang disebabkan oleh *starting* motor. Terlebih dahulu mengetahui drop tegangan yang terjadi pada saluran kabel penghantar pada saluran antara sumber menuju bus, karena adanya impedansi pada kabel penghantar yang memiliki panjang sekian hingga sampai pada bus dapat mengakibatkan drop tegangan pada saluran penghantar. Dan saat beban berupa motor induksi *starting*, pengaruh impedansi motor dan besar arus yang diserap motor untuk *starting* mengakibatkan drop tegangan pada sisi saluran penghantar dari bus menuju pada beban motor. Dengan mengasumsikan jarak antara bus menuju beban motor pendek, sehingga impedansi penghantar antara bus menuju beban berupa motor induksi dapat diabaikan. Jika jarak antara bus hingga menuju pada beban berupa motor panjang, sehingga untuk mengetahui drop tegangan pada sisi saluran penghantar bus menuju beban motor perlu diperhitungkan impedansi pada saluran penghantar kabel tersebut.