

BAB II

KERANGKA TEORITIS, KERANGKA BERPIKIR DAN HIPOTESIS PENELITIAN

2.1 Kerangka Teoritis

2.1.1 Pengertian Analisis

Menurut KBBI analisis adalah **analisis/ana·li·sis/** yang pertama, menyelidiki terhadap suatu peristiwa (karangan, perbuatan) untuk mengetahui keadaan yang sebenarnya (sebab-musabab, duduk perkaranya). Yang kedua, penguraian suatu pokok atas berbagai bagiannya dan penelaahan bagian itu sendiri serta hubungan antar bagian untuk memperoleh pengertian yang tepat dan pemahaman arti keseluruhan. Dari uraian tersebut bila dikelompokkan pada analisis data adalah penelaahan dan penguraian data hingga menghasilkan simpulan.¹

2.1.2 Pengasutan Motor

Pengasutan motor atau lebih dikenal dengan istilah motor starting, ketika motor dijalankan, pada saat gerak (*starting*) arus asutnya sangat tinggi. Arus asut yang sedemikian besar ini merupakan penyebab beberapa gangguan, antara lain sebagai berikut:

- a. Tegangan pada sisi penyulang akan susut (*drop*) tiba-tiba, walau sesaat selama periode *starting*, hal ini akan berpengaruh terhadap kinerja mesin mesin atau peralatan listrik lainnya. Jika susut

¹ Ebta Setiawan, "Kamus Bahasa Besar Indonesia", diakses dari <http://kbbi.web.id/analisis>, pada tanggal 02 November 2015 pukul 08:30.

tegangan ini relatif besar, dapat menggagalkan *starting* motor. Karena itu, kapasitas catu daya minimum harus cukup untuk menanggung arus asut.

- b. Nilai arus asut yang tinggi ini, juga akan terbangkitkan torsi asut yang tinggi pula, sehingga pada mesin-mesin tertentu, misal : mesin kompresor akan berpengaruh jelek, terutama pada kopling atau bantalan.²

Gangguan-gangguan tersebut akan berpengaruh sangat jelek sekali terhadap sistem kelistrikan, termasuk penyediaan catu daya, penyediaan suku cadang, dan sebagainya. Karena hal tersebut, maka dibuat metode atau cara pengasutan motor induksi 3 fasa, terutama untuk motor rotor sangkar (*Squirrel cage rotor*).

2.1.3 Motor Induksi

Motor arus bolak balik (motor AC) ialah suatu mesin yang berfungsi untuk mengubah tenaga listrik arus bolak balik (listrik AC) menjadi tenaga gerak atau tenaga mekanik, dimana tenaga gerak itu berupa putaran dari rotor.³ Motor listrik yang putaran rotornya tidak sama dengan putaran medan putar pada stator, dengan kata lain, putaran rotor dengan putaran medan pada stator terdapat selisih putaran yang disebut slip.⁴ Juga motor induksi bisa disebut motor asinkron.

² Serba Elektro, "*Metode Pengasutan Motor Induksi*", diakses dari <http://www.serbaelektro.com/2015/02/metode-pengasutan-motor-induksi.html>, pada tanggal 18 Desember 2015 pukul 20:50

³ Sumanto, *Motor Listrik Arus Bolak-Balik*, (Yogyakarta: Andi Offset, 1993), h.1

⁴ *Ibid.* h.2

Motor induksi merupakan motor yang memiliki konstruksi yang baik, harganya lebih murah dan mudah dalam pengaturan kecepatannya, stabil ketika berbeban dan mempunyai efisiensi tinggi. Mesin induksi adalah mesin AC yang paling banyak digunakan dalam industri dengan skala besar maupun kecil dan dalam rumah tangga. Alasannya adalah bahwa karakteristiknya hampir sesuai dengan kebutuhan dunia industri, pada umumnya berkaitan dengan harga, kesempurnaan, pemeliharaan dan kestabilan kecepatan. Mesin induksi (Asinkron) ini pada umumnya hanya memiliki satu suplay tenaga yang mengeksitasi belitan stator. Belitan rotornya tidak terhubung langsung dengan sumber tenaga listrik, melainkan belitan ini di eksitasi oleh induksi dari perubahan medan magnetik yang disebabkan oleh arus pada belitan stator.

Hampir semua motor AC yang dipakai adalah motor induksi, terutama motor induksi tiga fasa yang paling banyak dipakai di bidang industri. Motor induksi tiga fasa sering banyak digunakan sebagai penggerak karena memiliki banyak kelebihan dari motor-motor yang lain.

Seperti motor jenis lain, motor induksi terdiri dari 2 bagian yaitu stator yang merupakan bagian yang diam dan rotor yang merupakan bagian yang berputar. Penamaan berasal dari kenyataan bahwa arus di dalam rotor pada motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi.⁵

⁵ Zuhail, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, (Jakarta:PT Gramedia,1988), h.101

Bekerjanya motor induksi bergantung pada medan magnetik putar yang timbul dalam celah udara motor oleh adanya arus stator. Jika lilitan diberi energi dari catu tiga fase maka akan timbul fluksi pada masing-masing fase. Ketiga fluksi tersebut bergabung membentuk fluksi yang bergerak mengelilingi permukaan stator pada kecepatan konstan. Fluksi ini disebut medan magnetik putar. Dengan adanya medan putar ini akan menyebabkan rotor berputar dengan arah yang sama dengan fluks putar. Jadi pada motor asinkron jumlah putaran motor dapat ditulis dengan persamaan :⁶

$$N < \frac{120 f}{P} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

N = Kecepatan sinkron (RPM)

f = Frekuensi (Hz)

P = Jumlah kutub

Motor Sebagai alat penggerak lebih unggul dibandingkan alat-alat penggerak lain karena motor-motor listrik dapat dikonstruksikan sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik penggerakan, antara lain:

1. Bisa dibuat dalam berbagai ukuran tenaga.
2. Mempunyai batas-batas kecepatan (*speed range*) yang luas.
3. Pelayanan operasi mudah dan pemeliharaan sederhana.
4. Bisa dikendalikan secara manual, atau secara otomatis dan bahkan kalau diinginkan bisa dilayani dari jarak jauh (*remote control*) pemakaian motor listrik sebagai alat penggerak

⁶ Sumanto. *Op cit.* h.2

(misalnya : untuk keperluan industri) bisa dimungkinkan dengan otomatisasi di dalam proses produksi sehingga biaya operasi bisa ditekan. Hal ini bisa menekan biaya produksi karena sarana otomatisasi mampu menggantikan peran manusia.⁷

2.1.4 Konstruksi Motor Induksi 3 Fasa

2.1.4.1 Konstruksi Stator

Stator merupakan bagian yang diam saat motor di gerakan. Bagian yang dialiri oleh arus listrik. Bagian-bagian stator yaitu:

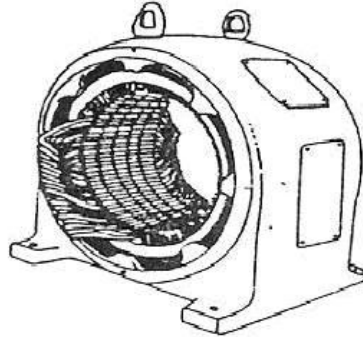
- a. Rumah stator dari besi tuang.
- b. Inti stator dari besi lunak atau baja *silicon*.
- c. Alur dan gigi materialnya sama dengan inti, alur tempat meletakkan belitan.
- d. Belitan stator dari tembaga.

Kerangka stator terdiri dari besi tuang atau dalam ukuran yang lebih kecil terdiri dari baja gulung dan tidak memberikan kegunaan magnetik sebagaimana dalam mesin-mesin arus searah. Secara sederhana fungsinya adalah untuk menyediakan proteksi mekanis dan memberikan penopang bagi ketukan kaki stator, gulungan-gulungan, dan penempatan untuk ventilasi.⁸ Belitan stator dirangkai untuk motor induksi tiga fasa tetapi juga dapat dirangkai untuk motor induksi satu fasa, disamping itu juga dirangkai untuk

⁷ *Ibid.*h. 3

⁸ Michael Neidle, *Teknologi Instalasi Listrik*, (Jakarta:Erlangga,1999),h.175

jumlah kutub tertentu. Maka jenis stator motor induksi dapat dilihat pada Gambar 2.1. dibawah ini :



Gambar 2.1.Stator Motor Induksi

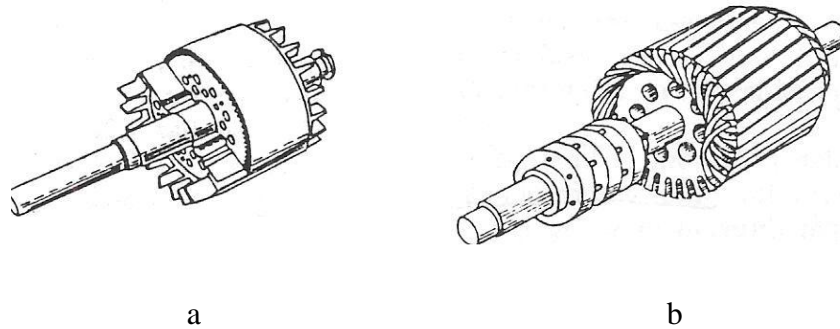
(Sumber : <http://www.geyosoft.com/2013/motor-induksi>)

2.1.4.2 Konstruksi Rotor

1. Inti rotor bahannya sama dengan inti stator.
2. Alur dan gigi materialnya sama dengan inti, alur tempat meletakkan belitan.
3. Belitan rotor bahannya dari tembaga, dari konstruksi lilitan akan memberikan dua macam rotor yakni :
 - a. Motor induksi dengan rotor sangkar
 - b. Motor induksi dengan rotor belitan
4. Poros atau as

Rotor dan stator membentuk rangkaian magnetis, berbentuk silindris yang simetris dan diantaranya terdapat celah udara. Celah udara antara stator dan rotor, kalau terlalu luas maka efisiensi rendah, sebaliknya jika terlalu sempit menimbulkan kesukaran mekanis pada mesin. apabila ada beda perputaran maka akan

menimbulkan *slip*. Perbedaan rotor sangkar tupai dan rotor bilitan bisa dilihat dari Gambar 2.2.



Gambar 2.2. a. Rotor Sangkar Tupai, b. Rotor Belitan
(Sumber : <http://anaklistrik98.blogspot.com/2009/07/tipe-motor-induksi.html>)

Jika dibandingkan antara rotor sangkar tupai dan rotor lilit maka ada perbedaan-perbedaan sebagai berikut:

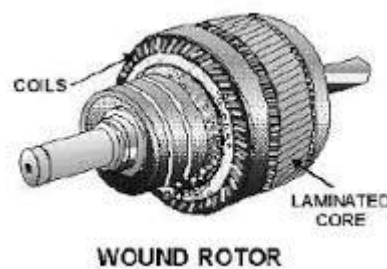
- a. Karakteristik motor induksi rotor sangkar tupai sudah *fixed*, sedangkan pada motor induksi dengan rotor lilit, masih dimungkinkan adanya variasi karakteristik dengan cara menambahkan rangkaian luar melalui *slip ring*.
- b. Jumlah kutub pada rotor sangkar tupai menyesuaikan terhadap jumlah kutub pada lilitan statornya, sedangkan jumlah kutub pada rotor lilit sudah tertentu.⁹

⁹ Sumanto. *Op cit.* h.53

2.1.4.2.1 Motor dengan Rotor Lilit

Motor rotor lilit atau motor cincin geser (*slip-ring*), seperti namanya rotor motor dililit dengan lilitan kawat berisolasi yang serupa dengan lilitan strator. Lilitan rotor dihubungkan bintang (Y) dan ujung lilitan dihubungkan dengan resistansi luar melalui cincin-slip yang terpasang pada poros rotor. Pengontrol dengan variasi resistansi dalam sirkit rotor adalah untuk mengatur kecepatan dan percepatan motor.

Motor *slip-ring* atau sering disebut motor rotor lilit termasuk motor induksi tiga fasa dengan rotor belitan dan dilengkapi dengan *slip-ring* yang dihubungkan dengan sikat arang ke terminal. Motor *slip-ring* dirancang untuk daya besar. Terlihat seperti Gambar 2.3



Gambar 2.3. Motor Induksi Rotor Lilit

(Sumber : <http://bayu93saputra.blogspot.com/2012/10/motor-induksi.html>)

Resistansi luar dimasukkan dalam sirkit rotor ketika motor dinyalakan. Penambahan resistansi pada sirkit rotor selama periode awal menghasilkan torsi pengasutan tinggi. Jika motor melakukan percepatan, resistansi luar berangsur-angsur dikurangi. Dengan cara ini torsi motor dikendalikan

sehingga selama periode awal tersedia nilai torsi maksimum. Cincin slip di hubung singkat ketika motor mencapai kecepatan penuh.

Pengasutan motor *slip-ring* terdiri dari kontaktor utama (*main contactor*) yang menghubungkan sirkit primer (belitan stator) dengan line dan lebih kontaktor percepatan bertahap (*step contactor*) untuk memindahkan resistansi keluar dari sirkit rotor secara berangsur-angsur.

2.1.4.3 Motor dengan Rotor Sangkar Tupai

Rotor sangkar tupai adalah motor induksi jenis rotor sangkar tupai lebih banyak digunakan daripada jenis rotor lilit, sebab rotor sangkar mempunyai bentuk yang sederhana. Belitan rotor terdiri atas batang-batang penghantar yang ditempatkan di dalam alur rotor. Batang penghantar ini terbuat dari tembaga, *alloy* atau alumunium. Ujung-ujung batang penghantar dihubung singkat oleh cincin penghubung singkat, sehingga berbentuk sangkar burung. Motor induksi yang menggunakan rotor ini disebut Motor Induksi Rotor Sangkar. Karena batang penghantar rotor yang telah dihubung singkat, maka tidak dibutuhkan tahanan luar yang dihubungkan seri dengan rangkaian rotor pada saat awal berputar. Alur-alur rotor biasanya tidak dihubungkan sejajar dengan sumbu (poros) tetapi sedikit miring seperti Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Rotor Sangkar Tupai
(Sumber : <http://ariyoahmad.blogspot.com/2013/05/motor-split-phase.html>)

Motor rotor sangkar mempunyai gulungan yang rotornya selalu dihubung singkat maka motor ini dinamakan motor hubung singkat. Keuntungan menggunakan motor 3 fasa jenis motor rotor sangkar adalah motor ini dapat ditambah dengan tahanan luar. Hal ini sangat menguntungkan untuk starting motor pada beban yang berat dan sekaligus sebagai pengatur putaran motor. Rangkaian motor induksi dengan rotor lilit yang dilengkapi dengan tahanan luar. Rotor sangkar tupai lebih banyak dipakai sebab harganya lebih murah. Kelemahan pada starting torsi diatasi dengan konstruksi *double squirrel cage* dan *dep-bar cage*.¹⁰

Karakteristik motor rotor sangkar adalah sebagai berikut :

- a. Rotor terdiri dari penghantar tembaga yang dipasangkan pada inti yang *solid* dengan ujung-ujung dihubung singkat mirip dengan sangkar tupai.
- b. Kecepatan konstan.

¹⁰ Sumanto. *Motor Listrik Arus Bolak-Balik*. (Yogyakarta: Andy Offset, 1993), h. 53

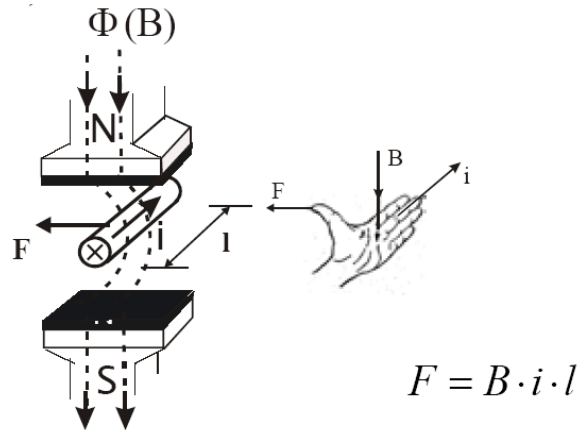
- c. Arus *start* yang besar yang diperlukan oleh motor menyebabkan tegangan berfluktuasi.
- d. Arah putaran dapat dibalik dengan menukarkan dua dari tiga lin daya utama pada motor.
- e. Faktor daya cenderung buruk untuk beban yang dikurangi.
- f. Apabila tegangan diberikan pada lilitan stator, dihasilkan medan magnet putar yang menginduksikan tegangan pada rotor. Tegangan tersebut pada gilirannya menimbulkan arus yang besar mengalir pada rotor. Arus tersebut menimbulkan medan magnet. Medan rotor dan medan stator cenderung saling menarik satu sama lain. Situasi tersebut membangkitkan torsi, yang memutar rotor dengan arah yang sama dengan putaran medan magnet yang dihasilkan oleh stator.
- g. Pada saat *start*, motor akan terus berjalan dengan rugi fasa sebagai motor satu fasa. Arus yang ditarik dari dual in sisa hampir dua kali, dan motor akan mengalami panas lebih.¹¹

2.1.5 Prinsip Kerja Motor Induksi

Pada prinsip kerja motor induksi didasari dengan hukum lorenz yang berbunyi ” *bila suatu konduktor yang dialiri arus berada dalam suatu*

¹¹ Frank D Petruzella, *Elektronik Industri*, (New York: The Mcgraw Hill Companies, 1996), h.345

kawasan medan magnet, maka konduktor tersebut akan mendapat gaya elektromagnetik“. Prinsip arah putaran motor bisa dilihat di Gambar 2.5

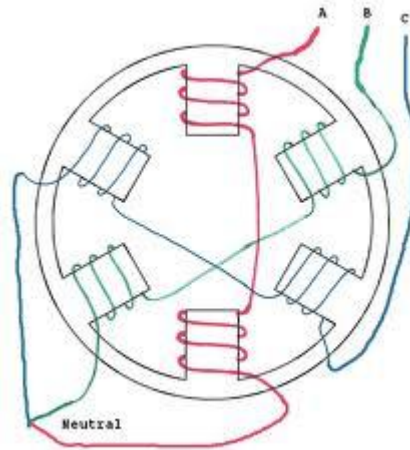


Gambar 2.5. Kaidah Tangan Kiri

Sumber : <http://bungaelin19.blogspot.com/2013/02/motor-induksi-3-fasa-bagian-2.html>

Gaya Lorentz merupakan hal yang sangat penting karena merupakan dasar dari bekerjanya suatu motor listrik. Gaya F yang dihasilkan pada konduktor-konduktor rotor tersebut akan menghasilkan torsi (τ). Bila torsi mula yang dihasilkan pada rotor lebih besar daripada torsi beban maka rotor akan berputar searah dengan putaran medan putar stator dan motor akan tetap berputar bila kecepatan medan putar lebih besar dari pada kecepatan putaran rotor.

Pada motor 3 fasa, lilitan statornya tidak berbeda dengan lilitan stator pada generator arus bolak-balik 3 fasa. Karena pada lilitan stator dimasukan arus listrik bolak-balik, maka di sekitar stator juga terjadi fluks magnet yang berubah-ubah pula. Jadi pada motor arus bolak-balik ini kutub magnet (*fluks magnet*) berputar. Terlihat pada Gambar 2.6.



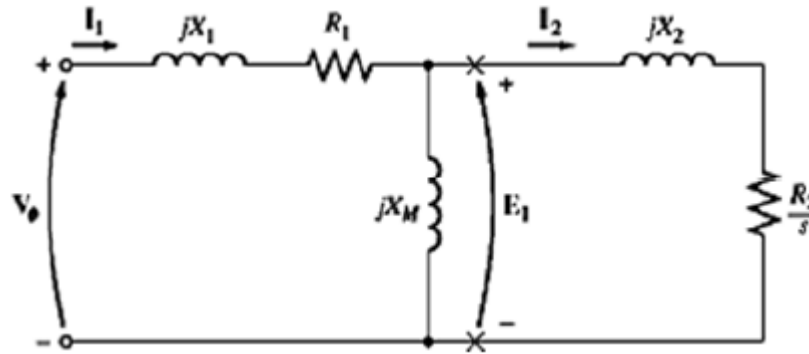
Gambar 2.6. Induksi dari Kumparan Listrik

(Sumber : <http://smart-chameleon.blogspot.com/2013/10/motor-induksi-3-phase.html>)

Medan putar akan terinduksi melalui celah udara menghasilkan ggl induksi (ggl lawan)

2.1.5.1 Rangkaian Ekivalent Motor Induksi

Kerja motor induksi seperti juga kerja transformator adalah berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Kerja motor induksi tergantung pada tegangan dan arus induksi pada rangkaian rotor dari rangkaian stator. Rangkaian ekivalen motor induksi mirip dengan rangkaian ekivalen trafo. rangkaian tersebut dapat dilihat pada gambar 2.7 dibawah ini :



Gambar 2.7 Rangkaian Ekivalen

(Sumber : Kadir, Abdul. *Mesin Tak Serempak*. Djamban. Jakarta : 1981)

Keterangan :

- R_1 = Resistansi Stator
- X_1 = Reaktansi Bocor Stator
- R_2 = Resistansi Rotor
- X_2 = Reaktansi Bocor Rotor
- X_m = Reaktansi Magnetisasi
- V_s = Tegangan Sumber
- I_1 = Arus Stator
- I_1 = Arus Rotor

Impedansi masuk, yaitu impedansi sebagaimana dilihat dari apitan mesin, adalah Z menurut persamaan 2.2

$$Z = R_1 + jX_1 + \frac{jX_m \left(\frac{R_2}{s} + jX_2 \right)}{\frac{R_2}{s} + j(X_2 + X_m)} \quad (2.2)$$

2.1.6 Slip Motor Induksi

Rotor mengikuti lintasan medan berputar, kecepatan medan berputar merupakan suatu faktor penting untuk menentukan kecepatan putaran rotor.

Kecepatan medan putar bergantung pada frekuensi sumber dan jumlah kutub di dalam motor. Kecepatan medan putar ini dikenal sebagai kecepatan sinkron dari motor. Selisih antara kecepatan sinkron dan kecepatan rotor yang sebenarnya dikenal sebagai kecepatan *slip* atau cukup dengan *slip*.¹²

Slip timbul karena adanya perbedaan antara kecepatan medan putar (*synchronous speed*) dan kecepatan rotor (*rotor speed*). Apabila rotor dari motor induksi berputar dengan kecepatan rotor dan kecepatan medan putar maka *slip* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

Slip = Kecepatan Sinkron – Kecepatan motor yang sebenarnya

$$\text{Presentase slip} = \frac{\text{Kecepatan Sinkron} - \text{Kecepatan Sebenarnya}}{\text{Kecepatan Sinkron}} \times 100\% \dots\dots(2.3)$$

2.1.7 Metode Pengasutan Motor

2.1.7.1 *Direct On Line* (DOL)

Pengasutan model ini sangat banyak dipakai saat ini, terutama untuk motor-motor arus kecil. Komposisi komponennya terdiri dari satu kontaktor dan satu proteksi arus dengan TOR atau elektronik. Kelemahan pengasutan model ini adalah kemungkinan timbulnya arus awal yang sangat tinggi. biasanya bisa mencapai 6 sampai 7 kali. Pada saat dinyalakan, torsi saat awal ini juga sangat tinggi dan biasanya lebih tinggi dari kebutuhan. Ini dapat terlihat

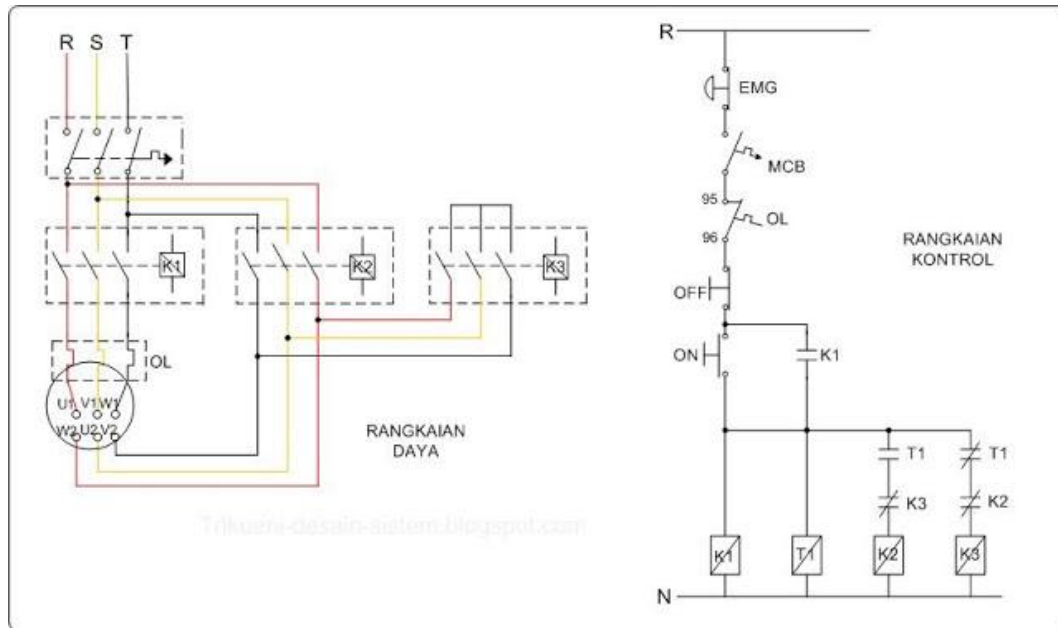
¹² Michael Neidle, *Teknologi Instalasi Listrik*, (Jakarta: Erlangga, 1999), h.177-178

adanya lonjakan/gerakan yang keras saat motor di awal mulai. Tingginya torsi awal ini juga akan memberikan tekanan lebih pada *coupling* dan beban.

Komponen penyusun pengasutan ini harus mempunyai *ampacity* yang cukup besar. Perlu diperhitungkan juga arus saat pengasutan motor, demikian juga ukuran *range overload* nya.

2.1.7.2 Metode Bintang-Segitiga

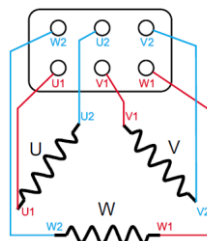
Pengasutan ini mengurangi lonjakan arus dan torsi pada saat awal motor dinyalakan. Tersusun atas 3 buah *contactor* yaitu *Main Contactor*, *Star Contactor* dan *Delta Contactor*. *Timer* berguna sebagai pengalihan otomatis dari kondisi bintang ke kondisi segitiga serta sebuah *overload relay*. Pada saat pengasutan, pengasutan awal terhubung secara bintang. Gulungan stator hanya menerima tegangan sekitar 0,578 (seper akar tiga) dari tegangan line. Jadi arus dan torsi yang dihasilkan akan lebih kecil dari pada pengasutan *Direct On Line*. Setelah mendekati kecepatan normal di kondisi awal akan berpindah menjadi terkoneksi secara segitiga. Pengasutan ini akan bekerja dengan baik jika saat kondisi awal motor tidak terbebani dengan berat. Bentuk dari rangkaian kendali dan rangkaian bintang-segitiga nya dapat dilihat Gambar 2.8 sebagai berikut:



Gambar 2.8. Rangkaian Kontrol Bintang-Segitiga

(Sumber : <http://trikueni-desain-sistem.blogspot.com/2013/08/Rangkaian-Star-Delta.html>)

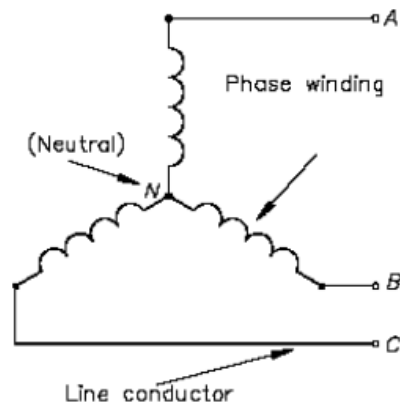
Motor induksi mempunyai 6 kabel dan masing-masing 3 input, 3 output inputan biasanya diberi nama U_1 , V_1 , W_1 dan Outputan U_2 , V_2 , W_2 . Gambar 2.14 menunjukkan wiring hubungan di motor antara bintang dan segitiga. Perbedaan ini terlihat di box panel yang ada pada motor induksi bintang dipasang seri dan delta dipasang paralel.



Gambar 2.9 Pemasangan Hubung Segitiga

(Sumber : <http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/01/sistem-3-fasa.html>)

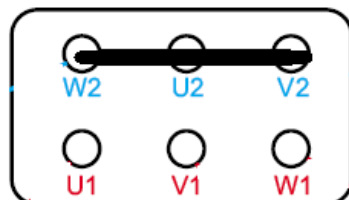
Gambar 2.9 menunjukkan pemasangan bintang dipasang seri di box panel motornya. Banyak pabrik yang memproduksi motor induksi mengubah posisi U2-V2-W2 tidak urut sesuai atas dan bawah tetapi sesuai urutan pemasangan segitiga agar sewaktu pemasangan segitiga lebih mudah.



Gambar 2.10 Hubungan Bintang

(Sumber:<http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/01/sistem-3-fasa.html>)

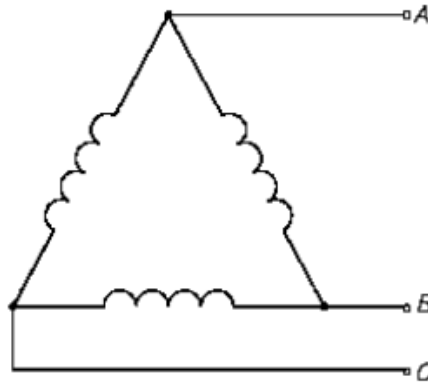
Dari gambar 2.10 adanya saluran/titik netral maka besaran tegangan fase dihitung terhadap saluran/titik netralnya, juga membentuk sistem tegangan 3 fase yang seimbang dengan magnitudenya (akar 3 dikali magnitude dari tegangan fase). $V_{line} = \text{akar } 3 V_{fase} = 1,73V_{fase}$



Gambar 2.11 Pemasangan Hubung Bintang

(Sumber : <http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/01/sistem-3-fasa.html>)

Gambar 2.12 hubung segitiga, berbeda dengan bintang, kondisi segitiga dengan tidak adanya titik netral, maka besarnya tegangan saluran dihitung antar fase, karena tegangan saluran dan tegangan fasa mempunyai besar magnitudo yang sama, maka:
 $V_{line} = V_{fase}$



Gambar 2.12 Hubung Segitiga

(Sumber:<http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/01/sistem-3-fasa.html>)

Dari penurunan persamaan-persamaan pada di bahwa ini, arus bintang adalah tiga kali lebih kecil dari arus segitiganya (rangkaiannya DOL). Ini juga menandakan bahwa torsi awal saat bintang akan lebih kecil 1/3 daripada DOL (saat rangkaian segitiga).

Tegangan pada rangkaian bintang adalah :

$$V_{\text{phasa}} = \frac{V_{\text{line}}}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Tegangan pada rangkaian segitiga adalah :

$$V_{\text{phasa}} = V_{\text{Line}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Jika dibandingkan dalam bintang segitiga adalah :

$$\frac{I_{L \text{ Bintang}}}{I_{L \text{ segitiga}}} = \frac{\frac{V_{\text{phasa}}}{Z}}{\frac{\sqrt{3} \cdot V_{\text{phasa}}}{Z}} = \frac{\frac{\sqrt{3} \cdot V_L}{3 \cdot Z}}{\frac{\sqrt{3} \cdot V_L}{Z}} = \frac{\sqrt{3}}{3} \times \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{1}{3} \dots \dots \dots (2.6)$$

Segitiga mempunyai tegangan sama dengan akar tiga dibagi dengan line sumber, sedangkan pada hubungan delta, tegangan phasa sama dengan tegangan line sumber. Merujuk pada perlakuan arus dan tegangan pada jaringan distribusi dan transmisi, dimana alasan utama penerapan tegangan tinggi adalah untuk mengurangi besar arus yang mengalir pada jaringan tersebut. Yang berarti hubungan antara tegangan dan arus saling bertolak belakang, dimana jika besaran tegangan meningkat, maka arus yang mengalir akan menjadi semakin kecil.

Rumus penghitung arus motor induksi 3 fasa adalah :

$$P = \sqrt{3} V . I . \text{Cos } Q \dots \dots \dots (2.7)$$

Bila arus yang ingin dicari maka :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V . \text{Cos } Q} \dots \dots \dots (2.8)$$

Diketahui :

P = Daya (watt)

I = Arus (ampere)

V = Tegangan (V)

Cos Q = Faktor Daya

2.1.7.3 *Primary Resistor*

Metode yang simpel dan sering digunakan lainnya untuk awal motor adalah metode *Primary Resistor*, metode penyalan motor ini mengurangi tegangan menggunakan resistor tipe *starter*. Dalam metode ini, resistor dihubungkan di setiap jalur sumber motor. Dari itu ada penurunan tegangan di resistor dan penurunan tegangan di terminal motor.¹³

2.1.7.4 *Autotransformer Starter*

Autotransformer mengurangi tegangan awal penyalan prinsipnya sama dengan *primary resistor*. Untuk mengurangi tegangan awal motor, *Autotransformer* dipasang antara motor dan tegangan sumber. Ada juga beberapa tap yang dapat menurunkan tegangan kira-kira 50%, 65%, atau 80% dari sumber tegangan.¹⁴

Kiranya jelas bahwa pada penggunaan sebuah transformator untuk *start* akan mengurangi kerugian-kerugian panas yang timbul bilamana dibanding dengan menggunakan hambatan primer. Namun juga jelas kiranya,

¹³ Stephen L. Herman, Walter N. Alerich, *Industrial Motor Control*, (Pennsylvania State University: Delmar Publishers, 1993), h.242

¹⁴ *Ibid.* h.247

bahwa sebuah transformator *start* lebih tinggi harganya daripada sebuah hambatan.¹⁵

2.1.7.5 *Soft Starter*

Softstarter sangat berbeda dengan *starter* lain. Alat ini mempergunakan *thyristor* sebagai komponen utamanya. Tegangan yang masuk ke motor akan diatur dimulai dengan sangat rendah sehingga arus dan torsi saat pengasutan juga rendah. Pada saat pengasutan ini tegangan yang masuk hanya cukup untuk menggerakkan beban dan akan menghilangkan kejutan pada beban. Secara perlahan tegangan dan torsi akan dinaikan sehingga motor akan mengalami percepatan sehingga tercapai kecepatan normal. Salah satu keuntungan mempergunakan alat ini adalah kemungkinan dilakukannya pengaturan torsi pada saat yang diperlukan, tidak terpengaruh ada atau tidaknya beban. Gambar 2.13 contoh dari modul *softstarter* merk *siemens*.

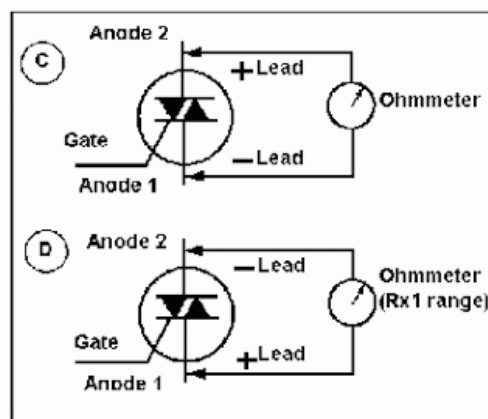


Gambar 2.13. Modul *Soft Starter*

(Sumber : <http://www.conrad.com/ce/en/product/197597/Siemens-3RW3028-1BB14-SIRIUS-3RW3028-Soft-Starter-11185kW>)

¹⁵ Abdul Kadir, *Mesin Tak Serempak*, (Jakarta : Djambatan,1981), h.80

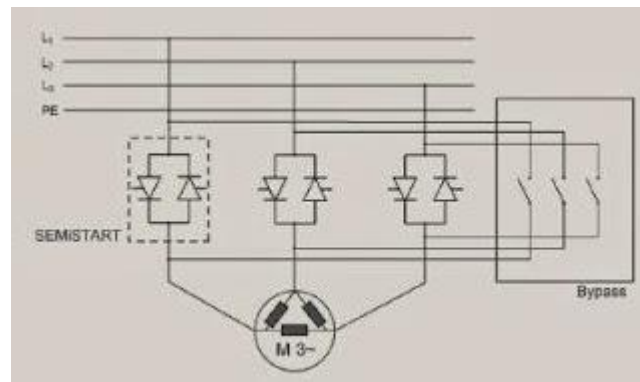
Komponen utama *soft starter* terdiri dari 6 buah *thyristor* untuk 3 fasa yang dipasang anti paralel. Seperti Gambar 2.14 bisa disebut juga sebagai TRIAC. TRIAC atau *Triode for Alternating Current*, merupakan masih keluarga *Thyristor* yang dekat dengan SCR. Namun tidak seperti SCR yang bersifat *unidirectional*, TRIAC bersifat *Bidirectional*, artinya dapat mengalirkan arus dari arah yang berlawanan. Begitu juga untuk *mentrigger*, pada TRIAC bisa mengaplikasikan arus positif ataupun negatif pada *gate* untuk bisa *mentrigger*nya.



Gambar 2.14 TRIAC

(Sumber : <http://www.bloganton.info/2010/04/dapatkah-ohmmeter-menguji-scr-atau.html>)

Dalam penelitian ini penggunaan *thyristor anti parallel* diganti dengan *triac* karena *triac* adalah komponen yang tersusun sedemikian rupa dari dua buah *thyristor*. Gambar 2.15 Berikut adalah rangkaian dasar *soft starting*.



Gambar 2.15 Rangkaian *Softstarter* Hubung Segitiga

(Sumber : <http://pltueas.blogspot.com/2013/12/pengasutan-motor-dengan-soft-starter.html>)

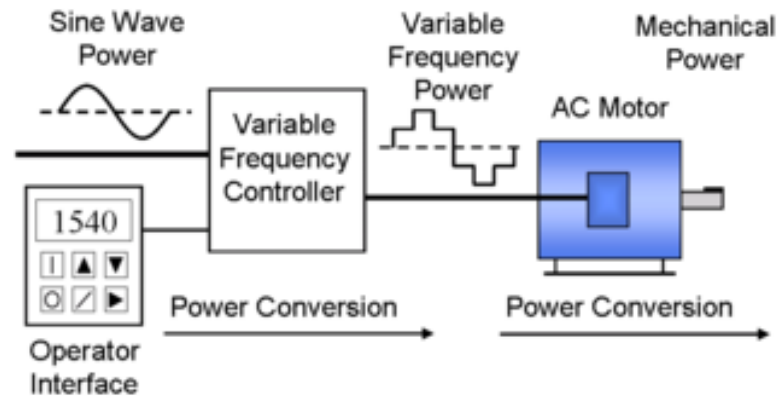
2.1.7.6 *Inverter / Frequency Drive*

Frequency Drive sering disebut juga dengan VSD (*Variable Speed Drive*), VFD (*Variable frequency Drive*) atau *Inverter*. VSD terdiri dari 2 bagian utama yaitu penyearah tegangan AC (50 atau 60 HZ) ke DC dan bagian kedua adalah membalikan dari DC ke tegangan AC dengan frekuensi yang diinginkan. VSD memanfaatkan sifat motor sesuai dengan rumus sbb :

$$\text{RPM} = \frac{120 \cdot f}{p} \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana:

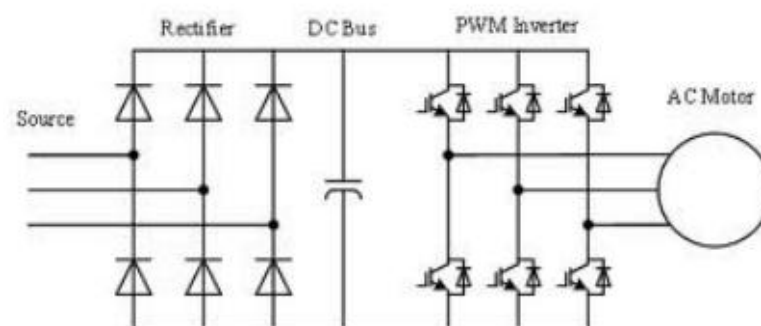
- RPM : Kecepatan putar / *speed* motor
- f : Frekuensi (Hz)
- p : Kutub



Gambar 2.16 Sistem Inverter 3 Fasa

(sumber : https://en.wikipedia.org/wiki/Variable-frequency_drive)

Gelombang yang keluaran dihasilkan dari inverter hampir menyerupai gelombang sinusoida tetapi tidak halus. Rangkaian inverter yang di atur menggunakan PWM terlihat seperti gambar 2.17



Gambar 2.17 Rangkaian Inverter 3 Fasa

(Sumber : <http://trikueni-desain-sistem.blogspot.co.id/2013/09/Prinsip-Dasar-Inverter.html>)

Untuk mengubah tegangan AC menjadi DC dibutuhkan penyearah (konverter 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 kapasitor sebagai perata tegangan. Kemudian tegangan DC diubah menjadi tegangan AC kembali oleh inverter dengan teknik PWM (*Pulse Width Modulation*). PWM bisa didapatkan amplitudo dan frekuensi keluaran yang diinginkan. Selain itu, PWM juga menghasilkan harmonisa yang jauh lebih kecil dari pada teknik yang lain serta menghasilkan gelombang sinusoidal, dimana harmonisa ini akan menimbulkan rugi-rugi pada motor yaitu cepat panas. Maka dari itu, teknik PWM inilah yang biasanya dipakai dalam mengubah frekuensi DC menjadi AC (Inverter).

Inverter mengatur frekuensi, maka kecepatan motor akan dapat diatur pula. Demikian pula pada saat *start*, dimulai dengan frekuensi rendah sampai frekuensi rata-ratanya hasilnya kecepatan motor akan mengalami percepatan yang lebih halus. Rumus mencari tegangan antar fasa jika harmonik = 0 adalah :

$$V_L = \sqrt{\frac{2}{3}} V_S = 0,8165 V_S \dots \dots \dots (2.10)$$

V_S = tegangan Sumber

Jika harmonik = 1 menjadi

$$V_L = \frac{4V_s \cos 30}{\sqrt{2}\pi} = 0,7797 V_s \dots\dots\dots(2,11)$$

Rms line to netral adalah :

$$V_p = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{\sqrt{2} V_s}{3} = 0,4714 V_s \dots\dots\dots(2.12)$$

Rasio antar tegangan adalah :

$$\text{Rasio} = \frac{\text{tegangan input}}{\text{tegangan inverter}} \dots\dots\dots(2.13)$$

2.1.8 MCB (*Miniature Circuit Breaker*)

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) adalah saklar atau perangkat elektromekanis yang berfungsi sebagai pelindung rangkaian instalasi listrik dari arus lebih (*over current*). Terjadinya arus lebih ini, mungkin disebabkan oleh beberapa gejala, seperti: hubung singkat (*short circuit*) dan beban lebih (*overload*). MCB sebenarnya memiliki fungsi yang sama dengan sekering (*fuse*), yaitu akan memutus aliran arus listrik sirkuit ketika terjadi gangguan arus lebih. Yang membedakan keduanya adalah saat terjadi gangguan, MCB akan trip dan ketika rangkaian sudah normal, MCB bisa di ON-kan lagi (*reset*) secara manual, sedangkan sekering akan terputus dan tidak bisa digunakan lagi.

MCB biasa diaplikasikan atau digunakan pada instalasi rumah tinggal, pada instalasi penerangan, pada instalasi motor listrik di industri dan lain sebagainya. Bentuk secara fisik dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18. *Miniatur Circuit Breaker*

(Sumber : <http://trikueni-desain-sistem.blogspot.com/2014/04/Pengertian-MCB.html>)

Prinsip kerja MCB sangat sederhana, ketika ada arus lebih maka arus lebih tersebut akan menghasilkan panas pada bimetal, saat terkena panas bimetal akan melengkung sehingga memutuskan kontak MCB (*Trip*). Selain bimetal, pada MCB biasanya juga terdapat solenoid yang akan mengtripkan MCB ketika terjadi grounding (*ground fault*) atau hubung singkat (*short circuit*).

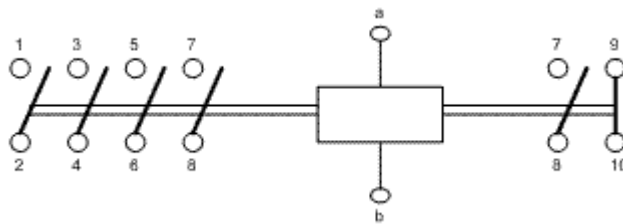
2.1.9 MC (*Magnetic Contactor*)

The National Electrical Manufacture Assosiation (NEMA) mendefinisikan kontaktor mekanis sebagai alat yang digerakkan secara magnetis untuk menyambung atau membuka berulang-ulang rangkaian daya listrik.¹⁶ Tidak seperti relai, kontaktor dirancang untuk menyambung dan membuka rangkaian daya. Magnetik kontaktor berarti menggunakan elektromagnetik untuk menutup kontak. Magnetik kontaktor adalah alat elektromagnetik yang dioperasikan menjadi saklar yang menyediakan keamanan, kemudahan yang berarti untuk menyambungkan dan memutuskan

¹⁶ Frank D Petruzella, *Elektronik Industri*, (New York: The McGraw Hill Companies, 1996), h.405

sebuah rangkaian kontrol.¹⁷ Kontak pada kontaktor terdiri dari kontak utama dan kontak bantu. Kontak utama digunakan untuk rangkaian daya, sedangkan kontak bantu digunakan untuk rangkaian kontrol.

Kontaktor biasanya terpasang di panel listik sebagai pengontrol motor atau sebuah alat operasi. Kontak kontaktor terdiri dari 5 NO (*Normally Open*), 2 NC (*Normally Close*) bertipe SN-21. Prinsip kerja sama dengan relai, jika ada arus atau tegangan yang melewati koil, kontaktor akan bekerja dan kontak NO akan tertutup kontak NC akan terbuka. Sama seperti Gambar 2.19.



Gambar 2.19. Kontak Kontaktor

(Sumber : <http://bkl-listrik-smk1kdw.blogspot.com/2008/12/kontaktor.html>)

Pada penggunaan kontaktor, kontak utama bertindak sebagai saklar, membuka dan menutup rangkaian terhadap beban. Umumnya kontaktor disuplai pada satu, dua, tiga atau empat susunan kutub. Kontak utama harus mengalirkan arus utamanya tanpa mengalami panas lebih, membuat arus tanpa pantulan atau meleleh dan mengganggu arus tanpa bunga api yang tidak semestinya.¹⁸ Kontaktor sangat penting dalam pengasutan bintang segitiga. Sebagai otak atau kerangka jalan dari sistem pengontrolan listrik. Listrik dipaksa untuk mengikuti alur yang telah disiapkan agar pengontrolan bintang

¹⁷ Stephen L. Herman, Walter N. Alerich, *Industrial Motor Control*. (Pennsylvania State University: Delmar Publishers, 1993), h.103

¹⁸ Frank D Petruzella. *Op cit*, h.410

segitiga tercapai. Kontaktor sebagai alat utama pengontrolan dan juga sudah cocok sebagai pengontrol motor. Pada gambar 2.20 diperlihatkan bentuk dari jenis kontaktor.



Gambar 2.20. Magnetik Kontaktor

(Sumber : <http://bkl-listrik-smk1kdw.blogspot.com/2008/12/kontaktor.html>)

2.1.10 TOR (*Thermal Overload Relay*)

Thermal relay atau *overload relay* adalah peralatan *switching* yang peka terhadap suhu dan akan membuka atau menutup kontaktor pada saat suhu yang terjadi melebihi batas yang ditentukan atau peralatan kontrol listrik yang berfungsi untuk memutuskan jaringan listrik jika terjadi beban lebih. Lihat gambar 2.21.



Gambar 2.21. *Thermal Overload Relay*

(Sumber :

http://www.weiku.com/products/18512931/Mitsubishi_TH_N_series_Thermal_Overload_Relay_0_12_660A.html)

Thermal relay atau *overload relay* merupakan pemanas yang dihubungkan seri dengan suplai motor. Besarnya panas yang dihasilkan akan meningkat akibat dari arus suplai. Jika beban lebih terjadi, panas yang dihasilkan menyebabkan seperangkat kontak membuka, memutuskan rangkaian.¹⁹ Relai beban lebih atau *overload* yang digunakan pada instalasi tenaga untuk mengamankan motor listrik adalah TOR. Jika arus yang melalui penghantar yang menuju motor listrik melebihi kapasitas atau seting TOR, maka TOR bereaksi atau terputus sehingga rangkaian yang menuju motor listrik terputus.

2.1.11 TDR (*Time Delay Relay*)

TDR (*Time Delay Relay*) atau disebut juga *relay timer* atau relai penunda batas waktu yang banyak digunakan dalam instalasi listrik terutama instalasi yang membutuhkan pengaturan waktu secara otomatis. Fungsi dari peralatan kontrol ini adalah sebagai pengatur waktu bagi peralatan yang dikendalikannya. *Timer* ini dimaksudkan untuk mengatur waktu hidup atau mati dari kontaktor atau untuk merubah sistem bintang ke segitiga dalam *delay* waktu tertentu.

Timer dapat dibedakan dari cara kerjanya yaitu *timer* yang bekerja menggunakan induksi magnet dan menggunakan rangkaian elektronik. *Timer* yang bekerja dengan prinsip induksi motor listrik akan bekerja bila motor listrik mendapat tegangan AC sehingga memutar gigi mekanis dan menarik serta menutup kontak secara mekanis dalam jangka waktu tertentu. Bentuk TDR terlihat pada Gambar 2.22.

¹⁹ *Ibid.* h. 423



Gambar 2.22. *Time Delay Relay*

(Sumber : <http://www.conrad.com/ce/en/product/506090/Finder-880202300002-Time-Delay-Relay-Timer-DPDT-CO-AI-on-delay-DI-switch-wiper-GI-Pulse-generator-05-s-aft>)

Sedangkan *relay* yang menggunakan prinsip elektronik, terdiri dari rangkaian R dan C yang dihubungkan seri atau paralel. Bila tegangan sinyal telah mengisi penuh kapasitor, maka relai akan terhubung. Lamanya waktu tunda diatur berdasarkan besarnya pengisian kapasitor.

2.1.12 Lampu Indikator AC

Lampu indikator atau lampu tanda merupakan sebuah tanda yang menggambarkan bahwasanya aliran arus listrik pada panel dalam keadaan bekerja atau mengalir. Perhatikan Gambar 2.23 biasanya terdiri dari tiga warna lampu yaitu warna merah (fase R), kuning (fase S), dan hijau (fase T) yang dipasang pada pintu panel. Bisa juga dalam control motor warna merah sebagai berhenti (*OFF*), warna hijau menyala (*ON*).



Gambar 2.23. Lampu Indikator

(Sumber : <http://segitiga-info.blogspot.com/2014/02/makalah-panel-hubung-bagi-phb.html>)

2.1.13 Arduino UNO

Arduino UNO adalah sebuah board mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328. Arduino UNO mempunyai 14 pin digital input/output (6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, sebuah osilator kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah power jack, sebuah ICSP header, dan sebuah tombol reset. Arduino UNO memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler, mudah menghubungkan ke sebuah komputer dengan kabel USB atau mensuplainya dengan adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya. Gambar 2.24 merupakan gambar bentuk arduino uno.



Gambar 2.24 Arduino Uno

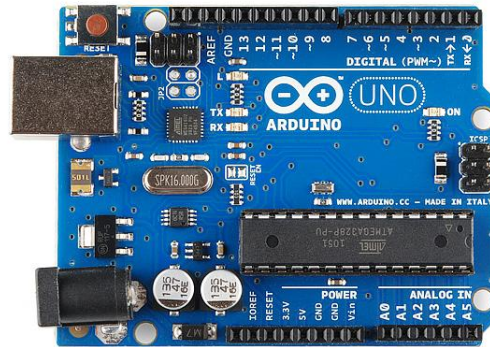
(Sumber : <https://www.arduino.cc/en/Products/Counterfeit>)

Arduino Uno berbeda dari semua board arduino sebelumnya, Arduino UNO tidak menggunakan chip driver FTDI USB-to-serial. Sebaliknya, fitur-fitur Atmega16U2 (Atmega8U2 sampai ke versi R2) diprogram sebagai sebuah pengubah USB ke serial. Revisi 2 dari board Arduino Uno mempunyai sebuah resistor yang menarik garis 8U2 HWB ke ground, yang membuatnya lebih mudah untuk diletakkan ke dalam *DFU mode*. Revisi 3 dari board Arduino UNO memiliki fitur-fitur sebagai berikut:

- a. Pinout 1.0: ditambah pin SDA dan SCL yang dekat dengan pin AREF dan dua pin baru lainnya yang diletakkan dekat dengan pin RESET, IOREF yang memungkinkan shield-shield untuk menyesuaikan tegangan yang disediakan dari board. Untuk ke depannya, shield akan dijadikan cocok dengan board yang menggunakan AVR yang beroperasi dengan tegangan 5V dan dengan Arduino Due yang beroperasi dengan tegangan 3.3V. Yang ke-dua ini merupakan sebuah pin yang tak terhubung, yang disediakan untuk tujuan kedepannya
- b. Sirkuit RESET yang lebih kuat
- c. Atmega 16U2 menggantikan 8U2

“Uno” berarti satu dalam bahasa Italia dan dinamai untuk menandakan keluaran (produk) Arduino 1.0 selanjutnya. Arduino UNO dan versi 1.0 akan menjadi referensi untuk versi-versi Arduino selanjutnya. Arduino UNO adalah sebuah seri terakhir dari board Arduino USB dan model referensi

untuk papan Arduino di gambar 2.25, untuk suatu perbandingan dengan versi sebelumnya, lihat indeks dari board Arduino.²⁰



Gambar 2.25 Arduino UNO R3

(Sumber :

http://www.australianrobotics.com.au/sites/default/files/imagecache/product_full/11021-02a.jpg)

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino UNO

Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan pengoperasian	5V
Tegangan input yang disarankan	7-12V
Batas tegangan input	6-20V
Jumlah pin I/O digital	14 (6 di antaranya menyediakan keluaran PWM)
Jumlah pin input analog	6

²⁰ Dede Hendriono, "Mengenal Arduino Uno", Diakses dari <http://www.hendriono.com/blog/post/mengenal-arduino-uno>, pada tanggal 14 Desember 2015 pukul 21.58

Arus DC tiap pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	32 KB (ATmega328), sekitar 0.5 KB digunakan oleh bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

2.1.13.1 Daya (*Power*)

Arduino UNO dapat disuplai melalui koneksi USB atau dengan sebuah power suplai eksternal. Sumber daya dipilih secara otomatis. Suplai eksternal (non-USB) dapat diperoleh dari sebuah adaptor AC ke DC atau baterai. Adaptor dapat dihubungkan dengan mencolokkan ke *center-positive plug* yang panjangnya 2,1 mm ke *power jack* dari board. Kabel dari sebuah baterai dapat dimasukkan dalam *header/kepala pin Ground* (Gnd) dan pin Vin dari konektor *power*.

Papan Arduino UNO dapat beroperasi pada suplai eksternal 6 sampai 20 Volt. Jika disuplai dengan yang lebih kecil dari 7V, kiranya pin 5V mungkin mensuplai kecil dari 5 Volt dan board Arduino UNO bisa menjadi tidak stabil. Jika menggunakan suplai yang lebih dari besar 12 Volt, Regulator bisa kelebihan panas dan membahayakan board Arduino UNO. Range yang direkomendasikan adalah 7 sampai 12 Volt. Pin-pin dayanya adalah sebagai berikut:

- a. VIN. Tegangan input ke Arduino board ketika board sedang menggunakan sumber suplai eksternal (5 Volt dari koneksi USB atau sumber tenaga lainnya yang diatur). Dapat menyuplai tegangan melalui pin ini, atau jika penyuplaian tegangan melalui *power jack*, aksesnya melalui pin ini.
- b. 5V. Pin output ini merupakan tegangan 5 Volt yang diatur dari regulator pada board. Board dapat disuplai dengan salah satu suplai dari DC *power jack* (7-12V), USB connector (5V), atau pin Vin dari board (7-12V). Penyuplaian tegangan melalui pin 5V atau 3,3V membypass *regulator*, dan dapat membahayakan board. Hal itu tidak dianjurkan.
- c. 3V. Sebuah suplai 3,3 Volt dihasilkan oleh *regulator* pada board. Arus maksimum yang dapat dilalui adalah 50 mA.
- d. GND. Pin ground.

2.1.13.2 Input dan Output

Setiap 14 pin digital pada Arduino Uno dapat digunakan sebagai input dan output, menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Fungsi-fungsi tersebut beroperasi di tegangan 5 Volt. Setiap pin dapat memberikan atau menerima arus maksimum 40 mA dan mempunyai sebuah resistor *pull-up* (terputus secara default) 20-50 kOhm. Selain itu, beberapa pin mempunyai fungsi-fungsi spesial:

- a. **Serial: 0 (RX) dan 1 (TX)**. Digunakan untuk menerima (RX) dan memancarkan (TX) serial data TTL (*Transistor-Transistor*

Logic). Kedua pin ini dihubungkan ke pin-pin yang sesuai dari chip Serial Atmega8U2 USB-ke-TTL.

- b. **External Interrupts: 2 dan 3.** Pin-pin ini dapat dikonfigurasi untuk dipicu sebuah *interrupt* (gangguan) pada sebuah nilai rendah, suatu kenaikan atau penurunan yang besar, atau suatu perubahan nilai. Lihat fungsi *attachInterrupt()* untuk lebih jelasnya.
- c. **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, dan 11.** Memberikan 8-bit PWM output dengan fungsi *analogWrite()*.
- d. **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** Pin-pin ini mendukung komunikasi SPI menggunakan *SPI library*.
- e. **LED: 13.** Ada sebuah LED yang terpasang, terhubung ke pin digital 13. Ketika pin bernilai HIGH LED menyala, ketika pin bernilai LOW LED mati.

Arduino UNO mempunyai 6 input analog, diberi label A0 sampai A5, setiapnya memberikan 10 bit resolusi (contohnya : 1024 nilai yang berbeda). Secara default, 6 input analog tersebut mengukur dari *ground* sampai tegangan 5 Volt, dengan itu mungkin untuk mengganti batas atas dari rangenya dengan menggunakan pin AREF dan fungsi *analogReference()*. Di sisi lain, beberapa pin mempunyai fungsi spesial:

- a. **AREF.** Referensi tegangan untuk input analog. Digunakan dengan *analogReference()*.

- b. **Reset.** Membawa saluran ini LOW untuk mereset mikrokontroler. Secara khusus, digunakan untuk menambahkan sebuah tombol reset untuk melindungi yang memblock sesuatu pada board.

2.1.13.3 Komunikasi

Arduino UNO mempunyai sejumlah fasilitas untuk komunikasi dengan sebuah komputer, Arduino lainnya atau mikrokontroler lainnya. Atmega 328 menyediakan serial komunikasi UART TTL (5V), yang tersedia pada pin digital 0 (RX) dan 1 (TX). Sebuah Atmega 16U2 pada *channel board* serial komunikasinya melalui USB dan muncul sebagai sebuah port virtual ke *software* pada komputer. Firmware 16U2 menggunakan *driver* USB COM standar, dan tidak ada *driver* eksternal yang dibutuhkan. Bagaimanapun, pada Windows, sebuah file inf pasti dibutuhkan. Software Arduino mencakup sebuah serial monitor yang memungkinkan data tekstual terkirim ke dan dari board Arduino. LED RX dan TX pada board akan menyala ketika data sedang ditransmit melalui chip USB-to-serial dan koneksi USB pada komputer (tapi tidak untuk komunikasi serial pada pin 0 dan 1). *Software Serial library* memungkinkan untuk komunikasi serial pada beberapa pin digital UNO.

Atmega328 juga mensupport komunikasi I2C (TWI) dan SPI. *Software* Arduino mencakup sebuah *Wire library* untuk memudahkan

menggunakan bus I2C, lihat dokumentasi untuk lebih jelas. Untuk komunikasi SPI, gunakan SPI library.

2.1.13.4 *Programming*

Arduino UNO dapat diprogram dengan software Arduino. Pilih “Arduino Uno dari menu **Tools** > **Board** (termasuk mikrokontroler pada Papan).

ATmega328 pada Arduino Uno hadir dengan sebuah *bootloader* yang memungkinkan kita untuk mengupload kode baru ke ATmega328 tanpa menggunakan program *hardware eksternal*. ATmega328 berkomunikasi menggunakan protokol STK500 asli Kita juga dapat membypass *bootloader* dan program mikrokontroler melalui kepala/header ICSP (*In-Circuit Serial Programming*).

Sumber kode firmware ATmega16U2 (atau 8U2 pada board revisi 1 dan revisi 2) tersedia. ATmega16U2/8U2 diload dengan sebuah *bootloader* DFU, yang dapat diaktifkan dengan:

- a. Pada *board Revisi 1*: Dengan menghubungkan *jumper* solder pada belakang *board* (dekat Italy) dan kemudian mereset 8U2
- b. Pada *board Revisi 2* atau setelahnya: Ada sebuah resistor yang menarik garis HWB 8U2/16U2 ke ground, dengan itu dapat lebih mudah untuk meletakkan ke dalam mode DFU. Kita dapat menggunakan *software Atmel's FLIP (Windows)* atau pemrogram DFU (Mac OS X dan Linux) untuk meload sebuah firmware baru.

Atau kita dapat menggunakan *header* ISP dengan sebuah pemrogram eksternal (*mengoverwrite bootloader DFU*).²¹

2.1.14 Sensor Arus ACS712

Pengukuran arus biasanya membutuhkan sebuah resistor *shunt* yaitu resistor yang dihubungkan secara seri pada beban dan mengubah aliran arus menjadi tegangan. Tegangan tersebut biasanya diumpankan ke *current transformer* terlebih dahulu sebelum masuk ke rangkaian pengkondisi signal. Gambar 2.26 bentuk fisik sensor arus ACS712 30A.



Gambar 2.26 Sensor Arus ACS712 30A

(Sumber : <https://partelektrik.wordpress.com/2013/05/13/jual-modul-pengukur-arus-ac-712-05a-harga-murah-sensor-arus-ac-dc/>)

Teknologi *Hall effect* yang diterapkan oleh *Allegro* menggantikan fungsi resistor *shunt* dan *current transformer* menjadi sebuah sensor dengan ukuran yang relatif jauh lebih kecil. Aliran arus listrik yang mengakibatkan medan magnet yang menginduksi bagian *dynamic offset cancellation* dari ACS712. bagian ini akan dikuatkan oleh *amplifier* dan melalui *filter* sebelum

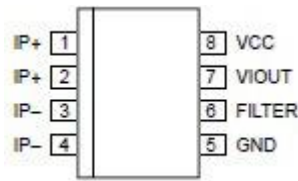
²¹ Dede Hendriono, "Mengenal Arduino Uno", Diakses dari <http://www.hendriono.com/blog/post/mengenal-arduino-uno>, pada tanggal 14 Desember 2015 pukul 22:06

dikeluarkan melalui kaki 6 dan 7, modul tersebut membantu penggunaan untuk mempermudah instalasi arus ini ke dalam sistem.

ACS712 adalah *Hall Effect current* sensor. *Hall effect allegro* ACS712 merupakan sensor yang presisi sebagai sensor arus AC atau DC dalam pembacaan arus didalam dunia industri, otomotif, komersil dan sistem-sistem komunikasi. Pada umumnya aplikasi sensor ini biasanya digunakan untuk mengontrol motor, deteksi beban listrik, *switched-mode power supplies* dan proteksi beban berlebih.

Sensor ini memiliki pembacaan dengan ketepatan yang tinggi, karena didalamnya terdapat rangkaian *low-offset* linear Hall dengan satu lintasan yang terbuat dari tembaga. cara kerja sensor ini adalah arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat didalamnya yang menghasilkan medan magnet yang di tangkap oleh integrated Hall IC dan diubah menjadi tegangan proporsional. Ketelitian dalam pembacaan sensor dioptimalkan dengan cara pemasangan komponen yang ada didalamnya antara penghantar yang menghasilkan medan magnet dengan hall transducer secara berdekatan. Persisnya, tegangan proporsional yang rendah akan menstabilkan Bi CMOS Hall IC yang didalamnya yang telah dibuat untuk ketelitian yang tinggi oleh pabrik.²² Gambar 2.27 kaki-kaki pemasangan sensor arus ACS712.

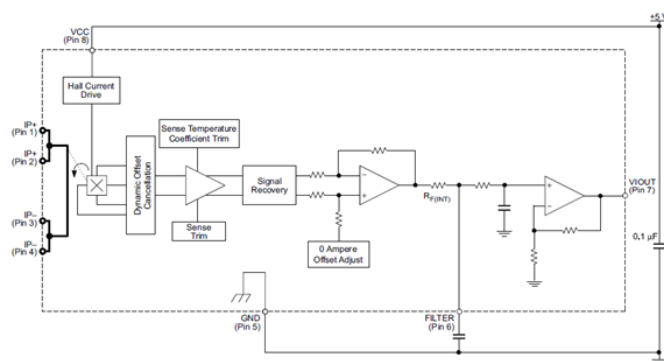
²² Hafiz Setiawan, "*Sensor Arus Effect Hall*", Diakses dari <http://ilmubawang.blogspot.co.id/2011/04/sensor-arus-efek-hall-acs721-hall.html>, pada tanggal 14 Desember 2015 23:00



Gambar 2.27 Konfigurasi PIN ACS712

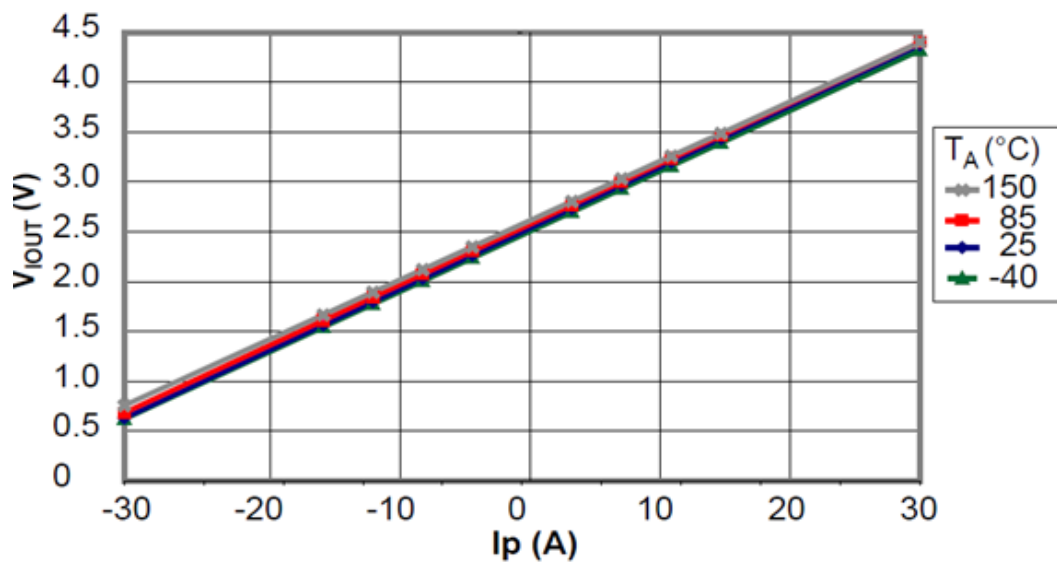
(Sumber : <http://ilmubawang.blogspot.co.id/2011/04/sensor-arus-efek-hall-acs721-hall.html>)

Output/keluaran dari sensor ini sebesar ($>VIOOUT(Q)$) saat peningkatan arus pada penghantar arus (dari pin 1 dan pin 2 ke pin 3 dan 4), yang digunakan untuk pendeteksian atau perasa arus. Hambatan dalam penghantar sensor sebesar $1,2\text{ m}\Omega$ dengan daya yang rendah. Jalur terminal konduktif secara kelistrikan diisolasi dari sensor leads/mengarah (pin 5 sampai pin 8). Hal ini menjadikan sensor arus ACS712 dapat digunakan pada aplikasi-aplikasi yang membutuhkan isolasi listrik tanpa menggunakan opto-isolator atau teknik isolasi lainnya yang mahal. Ketebalan penghantar arus didalam sensor sebesar 3x kondisi overcurrent. Sensor ini telah dikalibrasi oleh pabrik. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.28 Blok Diagram berikut :



Gambar 2.28 Gambar Blok Diagram

(Sumber : <http://ilmubawang.blogspot.co.id/2011/04/sensor-arus-efek-hall-acs721-hall.html>)



Gambar 2.29 Grafik Arus

(sumber : <http://ilmubawang.blogspot.co.id/2011/04/sensor-arus-efek-hall-ac721-hall.html>)

Contoh dari gambar 2.29 grafik, IC yang digunakan adalah versi 20A, artinya IC ini dapat dialiri arus dari -20A sampai 20A dengan sensitivitas 100mV/A.

2.1.14.1 Fitur penting dari sensor arus ACS712:

- a. Jalur sinyal analog yang rendah noise
- b. Bandwidth perangkat diatur melalui pin FILTER yang baru
- c. Waktu naik keluaran 5 mikrodetik dalam menanggapi langkah masukan aktif
- d. Bandwith 50 kHz
- e. Total error keluaran 1,5% pada $T_A = 25^\circ$, dan 4% pada -40° C sampai 85° C
- f. Bentuk yang kecil, paket SOIC8 yang kompak.
- g. Resistansi internal 1.2 m Ω .

- h. 2.1 kVRMS tegangan isolasi minimum dari pin 1-4 ke pin 5-8
- i. Operasi catu daya tunggal 5.0 V
- j. Sensitivitas keluaran 66-185 mV/A
- k. Tegangan keluaran sebanding dengan arus AC atau DC
- l. Akurasi sudah diatur oleh pabrik
- m. Tegangan offset yang sangat stabil
- n. Histeresis magnetic hampir mendekati nol
- o. Keluaran ratiometric diambil dari sumber daya²³

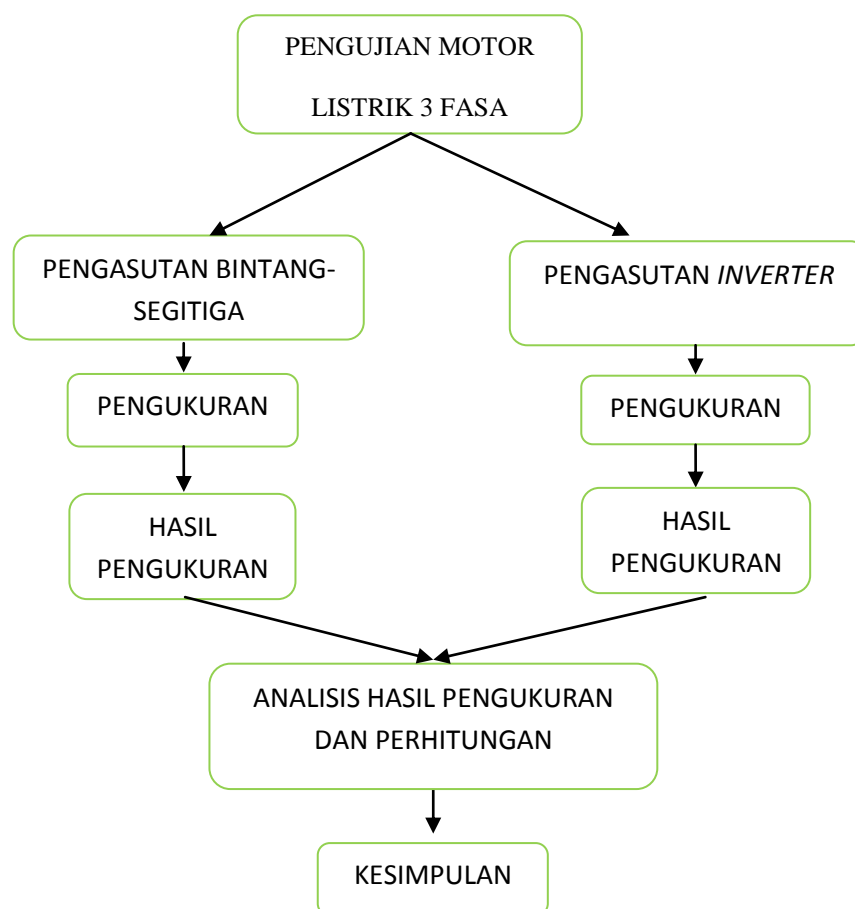
2.2 Kerangka Berfikir

Kerangka berfikir merupakan model konseptual tentang bagaimana teori berhubungan dengan berbagai faktor yang telah diidentifikasi sebagai masalah yang penting. Berikut adalah kerangka berpikir dalam penelitian ini, berdasarkan teori yang telah dikemukakan di atas, maka kerangka berfikir dalam penelitian ini yaitu perbandingan metode pengasutan *inverter* dan metode bintang pada motor induksi 3 fasa.

Pada proses awal menghidupkan motor, motor akan menarik arus 5-7 kali dari arus normal. Kondisi tersebut mengakibatkan motor akan mengalami keadaan yang memerlukan waktu untuk stabil. Jika arus lebih besar pada awal bisa menimbulkan kerugian dari penggunaan motor, maka dari itu suatu metode atau cara yang lebih baik untuk dapat menstabilkan kerja awalan dari motor 3 fasa. Dari kondisi ini penulis sangat tertarik untuk menelitinya.

²³ Depok Instrument, "ACS712", diakses pada <http://depokinstruments.com/2012/03/29/sensor-arus-listrik-ac712/>, pada tanggal 14 Desember 2015 23:15

Pada penelitian ini menggunakan inverter trainer dan bintang segitiga yang terdiri dari kontaktor sebagai kontrol, TDR sebagai relai waktu, dan TOR sebagai pengaman arus. Perbandingan metode ini dilihat antara kerja dari *inverter* mengatur besaran frekuensi untuk mengatur kecepatan motor dan bintang segitiga sebagai awal starting motor. Masing-masing pengasutan di uji coba dan setiap uji pengasutan akan diambil data-datanya antara lain tegangan, arus, waktu yang diperlukan untuk stabil, faktor daya dan juga kecepatan motor.



Gambar 2.30. Bagan Tahap Pengujian Kerangka Berfikir

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Gambar 2.30 menunjukkan tahap berfikir penelitian. Hasil penelitian yang diperoleh dari *inverter* dan bintang-segitiga akan dilihat perbandingan. Antara lain

arus, tegangan, kecepatan dan waktu yang diperoleh motor stabil. Pada data yang diambil, arus awal akan mempengaruhi kinerja motor induksi. Arus yang besar pada awal akan membuktikan bahwa motor induksi yang diasut memerlukan listrik yang besar dan semakin kecil arus yang diasut (sesuai *name plate* motor) efisiensi pengasutan akan baik dan motor akan bekerja optimal.

2.2.1 Hipotesis Penelitian

Adapun hipotesis penelitian ini adalah : “Diduga terdapat perbedaan penggunaan yang lebih baik pengasutannya dilihat dari parameter arus, tegangan dan kecepatan motor antara penggunaan metode *inverter* dengan metode bintang-segitiga pada motor induksi tiga fasa”. penggunaan metode inverter lebih baik dibandingkan dengan penggunaan bintang-segitiga dalam hal pengasutannya.